Eisen und stahl, ihre eigenschaften und behandlung, ...

Rudolph Schoppmann

Eisen und Stahl

ihre Eigenschaften und Behandlung

Praktisches Hilfs- und Handbuch

für

Hüttenmänner, Schmiede, Schlosser und Eisenhändler

Nach eigener Erfahrung

und mit Benutzung der einschlägigen Fachlitteratur

bearbeitet

von

Rudolph Schoppmann



Leipzig 1899
Verlag von Bernh. Friedr. Voigt.

Vorwort.

Wenn mich von Zeit zu Zeit Berufspflichten über den rheinisch-westfälischen Industriebezirk hinaus in die Werkstätten der Schmiede, Schlosser, Werkzeugmacher und Maschinenfabrikanten führten, so habe ich beobachtet, daß dem Stahl, sei es aus Unkenntnis oder Oberflächlichkeit, vielfach nicht die Behandlung zu teil wurde, die er erfordert, um die in ihm wohnende Schneidfähigkeit und Zähigkeit zur vollen Geltung gelangen zu lassen.

Meine Vorstellungen und Belehrungen wurden von den einen überhört, von anderen jedoch gewürdigt.

Ich habe gefunden, daß es unter den Schmieden viele gibt, und wenn sie auch schon lange Jahre Meister sind, die sich über die Behandlung der mannigfachen Stahlarten und auch über die vielen Flußeisensorten von anderer Seite gerne belehren lassen möchten. Aber wo findet sich hierzu Gelegenheit?

Der Eisenhändler kann die Belehrung leider nur in den seltensten Fällen geben, und wenn er es kann, dann ist ihm für eine gründliche Auseinandersetzung die Zeit zu kostbar.

Die Litteratur schließlich ist gewiß reich an vorzüglichen Kompendien und Flugschriften, die dieses Thema mit wissenschaftlicher Gründlichkeit abhandeln, aber gerade diese Wissenschaftlichkeit ist es, die dem strebsamen Handwerker das Studium der einschlägigen Werke verleidet. Er versteht sie nicht, weil der darin herrschende Ton sein Fassungsvermögen übersteigt. — Um diesem Uebel-

stand zu steuern, habe ich mich entschlossen, dieses Werkchen in leicht verständlicher Sprache zu schreiben.

Da mußte ich mir nun sagen, daß zum richtigen Verständnis für die Behandlung der verschiedenen Eisen- und Stahlarten nicht nur die Kenntnis der Eigenschaften dieser Materialien für den Leser vorangehen, sondern daß er auch die Herstellung derselben von Grund auf kennen lernen muß.

Und so ist denn das vorliegende Büchlein durch Aufzeichnung meiner Erfahrungen aus einer langen Reihe von Jahren, während welcher ich auf Eisen- und Stahlwerken und in Werkzeugfabriken thätig war und durch vielfache Benutzung neuerer Schriften auf dem Gebiete der Eisenhüttenkunde, entstanden.

Ich übergebe diese Arbeit der Oeffentlichkeit in der Hoffnung, daß es bei den Lesern eine wohlwollende Aufnahme finden und seine Bestimmung voll und ganz erfüllen möge.

Münster i. W., im Januar 1899.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort III
Allgemeine Eigenschaften des Eisens 1
Die fremden Bestandteile des Eisens und ihre Wirkung auf dasselbe . . . 2
Die Eisenerze 4
Die Brennmaterialien 5
Die Darstellung des Roheisens 7
Eisengießerei 10
Das Frischen des Roheisens oder die Darstellung von Schmiedeeisen und Stahl 12
Das Glühfrischen oder die Darstellung von schmiedbarem Guß 21
Herdflußeisen und Herdflußstahl (Siemens-Martin-Prozeß) 22
Zementstahl 23
Tiegelgußstahl 25
Stahl-Façonguß 27
Raffinierstahl 28
Damaststahl 30
Die besonderen Eigenschaften des Eisens und des Stahls und deren Behandlung 32
Hammerwerke und Walzwerke 42
Gewichtstabellen 47

Allgemeine Eigenschaften des Eisens.

Das Eisen, welches aus seinen Erzen dargestellt wird, ist niemals rein, sondern enthält 1/2 bis 8 und mehr Prozent fremde Bestandteile, und unter diesen nimmt der Kohlenstoff die erste Stelle ein. Reines Eisen kann in der Praxis nicht verwendet werden, weil es viel zu weich ist. Enthält das Eisen aber schon 1/4 bis 1/2 Prozent Kohlenstoff, so ist es zähe, leicht schmiedbar und leicht schweißbar, aber schwer schmelzbar, und das ist das sogenannte **Schmiedeeisen.**

Das Eisen aber, welches 1 bis 2 Prozent Kohlenstoff enthält, ist weniger zähe, schlechter schmiedbar und schlecht schweißbar, aber es hat die Eigenschaft, wenn es in Rotglut gebracht und dann plötzlich abgekühlt wird, äußerst hart zu werden, und das ist **Stahl.**

Die Härtbarkeit nimmt mit dem Kohlenstoffgehalt bis etwa 2 Prozent zu, dann aber allmählich wieder ab. Bei einem Kohlenstoffgehalt von 3 bis 5 Prozent ist das Eisen spröde, nicht schmiedbar und nicht schweißbar, aber leicht schmelzbar und das ist **Roheisen.**

Man unterscheidet graues und weißes Roheisen. Bei dem ersteren ist der Kohlenstoff als Graphit verstreut eingemengt, und beim weißen Roheisen ist er mit demselben chemisch (d. h. innig und gleichmäßig) gebunden.

Das graue Roheisen wird wegen seiner dünnflüssigen Beschaffenheit, und weil es sich kurz vor dem Erstarren nicht unbedeutend ausdehnt, weil es die Formen mit großer Schärfe und Reinheit ausfüllt, vorzugsweise zu Gußwaren verarbeitet und heißt daher auch **Gießereiroheisen.**

Das weiße Roheisen, welches seinen chemisch gebundenen Kohlenstoff leichter an Sauerstoff abgibt, wenn es in geschmolzenem Zustande mit der Luft in Berührung kommt, und welches aus diesem Grunde zur Darstellung von Schmiedeeisen und Stahl besonders geeignet ist, wird auch **Frischereiroheisen** genannt.

Das geschmolzene graue Roheisen geht bei raschem Abkühlen in weißes über, eine Eigenschaft, die man zur Herstellung von Hartguß verwertet, und umgekehrt entsteht aus bei starker Hitze geschmolzenem weißen Roheisen bei langsamem Erkalten graues.

Will man aus Roheisen Stahl herstellen, so entzieht man ersterem etwa die Hälfte des Kohlenstoffs und will man Schmiedeeisen daraus gewinnen, so darf nur ein ganz geringer Gehalt an Kohlenstoff darin zurückbleiben. Umgekehrt kann man aus Schmiedeeisen Stahl oder Roheisen machen, indem man demselben weniger oder mehr Kohlenstoff zuführt.

Die Verfahrungsarten, welche zum Zweck der Umwandlung des Eisens in der vorher beschriebenen Weise stattfinden, und worauf wir später näher zurückkommen, nennt man das Frischen und das Zementieren des Eisens.

Die fremden Bestandteile des Eisens und ihre Wirkung auf dasselbe.

---

1. Der Kohlenstoff.

Das Eisen hat eine große Verwandtschaft zum Kohlenstoff und wenn es in erhitztem Zustande mit demselben oder mit kohlenstoffhaltigen Körpern in Berührung kommt, so nimmt es bis zu einem gewissen Sättigungsgrade Kohlenstoff in sich auf. Als kohlende Körper kommen hier hauptsächlich Koks und Holzkohle in Betracht.

2. Mangan.

Das Mangan ist ein häufiger Bestandteil mancher Eisenerze, und bei der Schmelzung geht dasselbe in das Eisen über. Das Mangan ist grauweiß, sehr hart, spröde und dem Roheisen ähnlich. Es erhöht den Schmelzpunkt, sowie die Härte und begünstigt die Bildung des weißen Roheisens. Das Mangan ermöglicht die Aufnahme eines Kohlenstoffgehalts bis über 5 Prozent. Bei Schmiedeeisen und Stahl erhöht das Mangan bis zu einer gewissen Grenze die Festigkeit, wird diese aber überschritten, so wird das Eisen spröde. Bei 10 Prozent Mangangehalt gibt es Spiegeleisen und bei 20 Prozent Mangan und meist 5 bis 6 Prozent Kohlenstoff wird es Ferro-Mangan genannt, welches leicht flüssig wird und bei der Erzeugung von Flußeisen und Flußstahl verwendet wird. Mangan mildert auch die Schädlichkeiten der im Eisen enthaltenen Bestandteile an Silicium, Schwefel und Phosphor.

3. Silicium.

Dasselbe ist in den meisten Eisenerzen und auch im Kalk enthalten, welcher, wie wir später sehen werden, beim Umschmelzen der Eisenerze notwendig ist. Silicium findet sich in jedem Roheisen.

Das weiße Roheisen enthält selten über 1 Prozent Silicium, das graue 2 bis 5 Prozent.

Das Silicium erhöht die Härte und die Schmelzbarkeit des Schmiedeeisens und des Stahls.

Ueber 3 Prozent Siliciumgehalt machen das Eisen faulbrüchig, d. h. hart und mürbe. Solches Eisen zerbröckelt durch starke Schläge.

4. Phosphor.

Phosphor ist in vielen Eisenerzen enthalten, am meisten im Raseneisenstein und in den Minetteerzen, und er ist sehr oft ein Bestandteil des Roheisens.

Für Gießereiroheisen ist ein geringer Bestandteil Phosphor sehr wesentlich, weil er dasselbe dünnflüssig macht. Beim Schmiedeeisen wirkt Phosphor auf eine erhöhte Schweißbarkeit, aber mehr wie $^1/_4$ Prozent macht dasselbe kaltbrüchig, d. h. das Eisen zerspringt leicht beim Kalthämmern. Im Stahl darf nicht mehr als $^1/_{10}$ Prozent Phosphor enthalten sein, sonst wird er wertlos.

5. Schwefel.

Eisen und Schwefel haben große Verwandtschaft zu einander; sie verbinden sich bei schwacher Erwärmung schon sehr leicht.

Schwefel kommt als Schwefelkies in Eisenerzen vor, meistens wird er aber durch die Steinkohle ins Eisen gebracht.

Man soll darum guten Stahl niemals in frischen Steinkohlen erwärmen.

Der kleinste Schwefelgehalt macht Schmiedeeisen und Stahl rotbrüchig, d. h. er bewirkt, daß das Material, sobald es in Rotglut bearbeitet wird, rissig wird und in Stücke zerfällt. Schon $^1/_{25}$ Prozent Schwefelgehalt macht Stahl unbrauchbar.

6. Sauerstoff (Oxygen).

Sauerstoff oder Oxygen ist ein Hauptbestandteil der gewöhnlichen Luft, die uns umgibt, und welche aus 1 Teil Sauerstoff und 4 Teilen Stickstoff besteht. Das Atmen der Menschen und Tiere und das Verbrennen brennbarer Körper, auch der Vorgang der allmählichen Zerstörung an der Luft und des Verwesens wird durch den Sauerstoff bewirkt. Der Sauerstoff ist ein wesentlicher Bestandteil der meisten Körper auf oder in der Erde, und er ist auch in den Eisenerzen enthalten. Der Sauerstoff verbindet sich mit beinahe allen Grundstoffen. Die Verbindungen des Sauer-

stoffs heißen Oxyde; der Prozeß der Vereinigung mit Sauerstoff heißt Oxydation, der entgegengesetzte Prozeß der Abscheidung der Grundstoffe aus ihren Verbindungen mit dem Sauerstoff heißt Reduktion oder Desoxydation. Der Sauerstoff geht eine Verbindung mit dem Eisen ein und die Wirkung dieser Oxydation ist eine verschiedenartige.

Liegt Eisen längere Zeit in feuchter Luft, so rostet es; dabei verliert es seinen Glanz, seine Härte, seine Festigkeit; es verwandelt sich in einen dunkelbraunen Körper, der sich leicht abkratzen läßt. Der Rost ist ein verändertes Eisen, hervorgerufen durch die Verbindung mit Sauerstoff. Zum Schutz gegen das Rosten wird das Eisen mit Ueberzügen versehen, welche aus Fetten, Firnis, Teer und Mennigen oder in einer Verzinnung oder Verzinkung bestehen.

In höherer Temperatur, namentlich bei Rotglut, wirkt der Sauerstoff energisch auf das Eisen ein, es bildet sich der Hammerschlag und der Walzensinter, die wieder oxydierend auf den im Eisen enthaltenen Kohlenstoff wirken. Die Verbindung von Sauerstoff und Kohlenstoff gibt Kohlenoxydgas, welches wegen seines luftförmigen Zustandes entweicht.

Auf geschmolzenes Eisen wirkt der Sauerstoff in der Weise ein, daß er die fremden Bestandteile und vor allem den Kohlenstoff und einen Teil des Eisens selbst oxydiert, und je nach der Länge der Oxydationszeit entsteht aus Roheisen Stahl oder Schmiedeeisen.

Die Eisenerze.

Unter Eisenerzen versteht man solche Fossilien (d. h. ausgegrabene Mineralien), welche nicht nur Eisen in genügender Menge, sondern auch diejenigen Nebenbestandteile enthalten, die für die Verschmelzung geeignet sind.

Das Vorkommen der Eisenerze in der festen Erdkruste ist ein ziemlich mannigfaltiges. Sie finden sich teils in Gestalt regelmäßiger Lager (Erzlager) parallel zwischen den Schichten anderer Gesteine, teils als unregelmäßige Gesteinskörper, sogenannte Stöcke oder Erzstöcke, zwischen verschiedenartigen Gesteinen; teils als Ausfüllung von Spalten, sogenannten Erzgängen und teils endlich in lockeren Schutt-, Sand-, Lehm- oder Morastanhäufungen an der Erdoberfläche.

Von der Reinheit der Erze hängt die Güte des darzustellenden Eisens, wie es in den Schmiedegewerben Anwendung findet, insbesondere ab.

Das vorzüglichste Eisenerz ist der Magneteisenstein, aus welchem der beste Gußstahl hergestellt wird. Leider findet sich dieses kostbare Erz in Deutschland sehr selten, aber in Schweden und Rußland, auch in Algier und Nordamerika kommt es in mächtigen Lagern vor. Der Eisengehalt schwankt zwischen 30 und 60 Prozent.

In Deutschland findet sich als besseres Eisenerz der Roteisenstein, der Spateisenstein und der Brauneisenstein, woraus auch ein vorzüglicher Gußstahl dargestellt wird. Der Eisengehalt schwankt bei diesen Erzen zwischen 20 und 65 Prozent. Weniger wertvoll ist der Thoneisenstein oder Sphärosiderit mit einem Eisengehalt von 28 bis 35 Prozent.

Die Minetteerze und der Raseneisenstein, welche wegen ihres hohen Phosphorgehaltes und geringen Eisengehaltes in früheren Jahren kaum Anspruch auf den Namen „Erz“ machen konnten, haben, seit Thomas das Entphosphorungsverfahren eingeführt hat, größere Nachfrage und höheren Wert erhalten.

Die Brennmaterialien.

Unter Brennmaterialien versteht man diejenigen kohlenstoffhaltigen brennbaren Körper, welche geeignet sind, einen hohen Hitzegrad zu erzeugen. Die bei der Eisengewinnung und Eisenbearbeitung angewandten Brennmaterialien sind Holz (Holzkohle), Braunkohle und Steinkohle (Koks). Alle stammen aus dem Pflanzenreich.

Die Pflanzenfaser des Holzes besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Frisch gefälltes Holz enthält durchschnittlich 40 Prozent Wasser, welches durch Verkohlung in Meilern, d. h. durch starke Erhitzung bei beschränktem Luftzutritt, größtenteils ausgeschieden wird (Holzkohle).

Die **Holzkohle** saugt aus der feuchten Luft bis zu 16 Prozent Wasser und vermehrt dadurch ihr Gewicht um 6 bis 7 Prozent. Bei Berührung mit größeren Mengen Wasser saugt die Holzkohle alle Poren voll und wird unbrauchbar.

Ein Kubikmeter Holzkohlen von weichem Holz wiegt ca. 150 kg, von hartem Holz ca. 220 kg.

Der Aschengehalt beträgt 3 bis 4 Prozent.

Die **Braunkohle** ist ein Vermoderungsprodukt von Sumpfpflanzen, welches durch den Jahrtausende langen Druck aufgelagerter Erd- und Gestein-

schichten eine steinartige Zusammensetzung erhalten hat. Man unterscheidet nach der Art des Gefüges (Struktur) derbe, faserige, holzige Braunkohle, Schieferkohle und Pechkohle. Der Kohlenstoffgehalt der einzelnen Braunkohlensorten ist ein sehr verschiedener, und danach bemißt sich auch ihr Wert als Brennmaterial. Die Braunkohle hat viele Aschenbestandteile und deshalb wird sie in der Eisenindustrie wenig verwendet.

Die **Steinkohle** ist ein noch weiter als die Braunkohle fortgeschrittenes Vermoderungsprodukt aus den Resten der Pflanzenfaser, von Palmen, Schachtelhalmen, Farren und Algen.

Bei Steinkohlen schwankt der Aschengehalt zwischen 2 und 30 Prozent und es beträgt derselbe:

für beste	gute	mittelmäßige	schlechte Steinkohlen
2 bis 8	8 bis 12	12 bis 18	18 bis 30 Prozent

Kohlen, welche unschmelzbare trockene Asche geben, sind denen vorzuziehen, die zähflüssige Asche geben. Der Schwefelgehalt beträgt $^1/_2$ bis 2 Prozent.

Die Steinkohlen werden eingeteilt in:

1. langflammige, sauerstoffreiche und zwar in		Kohlenstoffgehalt.
a) magere Flammkohlen	mit 60 bis 64 Prozent	
b) sinternde Flammkohlen	mit 64 bis 68 Prozent	
c) backende Flammkohlen	mit 68 bis 75 Prozent	
2. kurzflammige, kohlenstoffreiche und zwar in		
d) Fettkohlen	mit 75 bis 85 Prozent	
e) Eßkohlen	mit 85 bis 90 Prozent	
f) Anthracitkohlen	mit 90 bis 96 Prozent	

Die Steinkohle wird bergmännisch als Stückkohle oder Feinkohle gewonnen. Ist sie durch Schieferteile verunreinigt, so werden die aus dem Bergwerk kommenden Stücke zerkleinert, nach der Korngröße durch Siebe sortiert und nachher die schwereren Schieferstücke von den leichteren Kohlenstücken durch Wasserstoß getrennt, wobei die letzteren vom Wasser mit fortgeführt werden, die ersteren zurückbleiben und niederfallen.

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Kohle ist ihre reduzierende, d. h. Sauerstoff entziehende Wirkung, welche beim Hochofenprozeß besonders zur Geltung kommt.

Koks ist ein Brennmaterial, welches durch Verkohlen der Steinkohle bei beschränktem oder völlig gehindertem Luftzutritt gewonnen wird. Alle Steinkohlenarten enthalten außer dem Kohlenstoff noch Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Letzterer macht die rohe Steinkohle, wo sie mit erhitztem Eisen in Berührung kommt, ungeeignet, weil das Eisen in der Hitze große Neigung hat, Schwefel aufzunehmen, wodurch es warmbrüchig wird. Deshalb verkohlt man die Steinkohle vielfach vorher, wobei flüchtige

Körper mit einem großen Teil des Wasserstoff-, Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalts entweichen. Das Verkohlen der Steinkohlen geschieht meistens in geschlossenen Oefen ohne Luftzutritt. Diese gemauerten Oefen besitzen Kanäle für die abziehenden Gase, welche dann, unter diese Räume geleitet und angezündet, bei ihrer Verbrennung die zur Verkohlung nötige Wärmemenge liefern.

Die Darstellung des Roheisens.

Das Ausscheiden des Eisens aus den Erzen geschieht in Schachtöfen, die wegen ihrer beträchtlichen Größe Hochöfen genannt werden. Die Hochöfen bleiben, so lange keine Betriebsstörungen eintreten, ununterbrochen in Thätigkeit. Dieselben sind aus feuerfestem Mauerwerk sehr kräftig und mit allen Vorsichtsmaßregeln gegen ein Ausweichen auf einem sehr zuverlässigen Fundament aufgebaut. Das Mauerwerk ist mit einem starken eisernen Blechmantel umgeben.

Der innere Bau des Hochofens besitzt fast die Gestalt eines Cylinders, der auf dem ersten Drittel seiner Höhe (von oben gemessen) sanft ausbaucht und unten etwas enger ist wie oben. Die oberen zwei Drittel des inneren Ofens bilden den Schacht, darunter schließt sich der enger werdende Raum an, den man die Rast nennt und zu unterst befindet sich der Herd, auch Eisenkasten genannt, wo sich das geschmolzene Eisen und die flüssige Schlacke ansammelt. Auf der Herdsohle ist eine Oeffnung frei gelassen, die mit einem Stein geschlossen werden kann, wodurch das Eisen von Zeit zu Zeit abgelassen wird, und etwas höher befindet sich in dem Herd eine zweite Oeffnung zum Abfluß der Schlacke. Der oberste Teil des Hochofens heißt die Gicht.

Die Hochöfen haben eine Höhe zwischen 15 und 20 m. Der kubische Inhalt schwankt zwischen 200 und 400 cbm.

Bevor die Erze zur Verschmelzung in den Hochofen gebracht werden, bedürfen sie meistens einer Zerkleinerung auf Nuß- bis Faustgröße, und minderwertige Erze, wie die Rasenerze und Minetten, müssen vorher gewaschen werden.

Es gibt nur wenige Erze, die für sich allein geschmolzen werden können. Zuweilen gelingt es, durch Mischung verschiedener Erzsorten ein Verhältnis herbeizuführen, wie es für die Verschmelzung günstig ist. In den meisten

Fällen wird den Erzen Kalk beigegeben, um die Schmelzung günstiger zu gestalten, und um eine Schlacke zu erzeugen, die leicht abfließt.

Das Gemisch von Erz und Kalk nennt man die Möllerung.

Als Brennmaterial bedient man sich der Kohle.

Die reinste Kohle, die in früheren Jahren ausschließlich zum Ausschmelzen der Eisenerze benutzt wurde, und in Schweden, wo großer Holzreichtum besteht, auch heute noch benutzt wird, ist die Holzkohle.

Weniger rein ist die Steinkohle, welche nicht nur viele erdige Bestandteile enthält, die als Asche zurückbleiben, sondern auch Schwefel, der auf das zu gewinnende Eisen sehr nachteilig wirkt. Die meisten Hochofenwerke Deutschlands verwenden heute nur Koks, das ist, wie wir gehört haben, entschwefelte Steinkohle.

Das Füllen oder Beschicken des Hochofens geschieht von oben durch die Gicht. Erz, Kalk und Koks, die in abgewogenen oder abgemessenen Mengen durch maschinelle Vorrichtungen nach oben gelangen, werden in abwechselnden Schichten in den Ofen hineingeschüttet, dessen Schacht damit vollständig angefüllt ist. Die Nachfüllung geschieht stets in der Menge, bezw. in den Zeitabschnitten, wie es unten durch den Abfluß des Eisens und der Schlacke und durch Nachrutschen des ganzen Inhalts des Ofens erforderlich wird.

Der Wind, vermittelst dessen der Koks im Hochofen verbrannt werden soll, wird durch Cylindergebläse erzeugt, welche durch mächtige Dampfmaschinen betrieben werden. Um einen hohen Hitzegrad zu erzeugen, und um auch an Brennstoff zu sparen, wird die Gebläseluft, bevor sie in den Hochofen tritt, auf 350 bis 800 Grad erhitzt. Zu dem Zweck leitet man den Wind auf dem Wege zum Hochofen entweder durch gußeiserne Röhren mit äußerer Heizung oder man läßt ihn durch erhitzte Kammern streichen, welche mit feuerfesten Steinen ausgesetzt sind.

Das Erhitzen der Rohre und Kammern geschieht meistens durch die aus der Gicht des Hochofens ausströmenden Gase, welche da aufgefangen und in gasdichten schmiedeeisernen Rohren zur Verwendungsstelle geleitet werden. Auch zur Dampferzeugung für die Gebläsemaschinen liefern die Gichtgase meistens ein ausreichendes Brennmaterial.

Eine zweckmäßige Vorrichtung zum Auffangen der Gichtgase, die auch gleichzeitig eine mechanische Beschickung des Hochofens besorgt, und das Erz in stärkerer Lage am Umfange als in der Mitte, wie es ein guter Ofengang erfordert, anhäuft, verdient erwähnt zu werden. Man denke sich einen eisernen Trichter in Form eines abgestumpften Kegels, dessen untere kleinere Oeffnung von unten durch einen vollen Kegel geschlossen ist, als Gichtverschluß. Der volle Kegel ist durch eine Kette an einem Hebel befestigt, wodurch er heruntergelassen und wieder aufgezogen werden kann.

Bei dem Senken des vollen Kegels gleitet die vorher aufgestürzte Beschickung in den Ofen.

Es gehen bei dieser Vorrichtung nur die wenigen Gase verloren, welche den Augenblick des Senkens des vollen Kegels zum Abzug ins Freie benutzen. Alle übrigen Gase gelangen durch ein dicht unter dem Gichtverschluß mündendes Rohr an die vorhin erwähnten Verwendungsstellen.

Die Gebläseluft wird dem Hochofen also erwärmt zugeführt. Der Eintritt dieser Luft geschieht durch mehrere Düsen (bis 6 Stück), die rund um den Hochofen verteilt, in einer Höhe von etwa 1/2 m über der Herdsohle münden. Die Düsen endigen und ruhen in den Formen, worunter man Metallhülsen versteht, in denen kaltes Wasser umläuft, und die die Oeffnungen im Mauerwerk ausfüllen.

Beim Austritt aus den Formen trifft der Wind auf glühenden Koks, der dadurch zu Kohlensäure verbrennt. Letztere wird, indem sie weiter oben mit neuem Kohlenstoff zusammentritt, zu Kohlenoxyd reduziert. Dieses ist beim ganzen Hochofenprozeß der eigentlich wirksame Bestandteil, indem es auf seinem weiteren Wege den Eisenerzen den Sauerstoff entzieht, d. h. sie zu Eisen reduziert, während es selbst sich durch Sauerstoffaufnahme zum großen Teil wieder in Kohlensäure verwandelt und als solche zusammen mit dem Stickstoff der Luft, der keine chemischen Prozesse erleidet, den Hochofen in der vorher beschriebenen Weise verläßt. Den umgekehrten Weg, und zwar viel langsamer, beschreibt die Beschickung. Dieselbe wird nach dem Einschütten in die Gicht von den abziehenden Gichtgasen zunächst vorgewärmt und zugleich getrocknet.

Beim allmählichen Herabsinken in Querschnitten, die etwa 400 Grad zeigen, beginnt die reduzierende Wirkung des Kohlenoxyds, wodurch sich das Eisenoxyd zunächst in Eisenoxydul verwandelt, welches dann weiter unten bei 800 bis 900 Grad Hitze zu Eisen reduziert wird. Gleichzeitig mit dem Reduktionsprozeß spielt sich der wichtige Vorgang der Kohlung ab. Durch Zusammenwirken von Kohlenoxyd und eisenoxydhaltigem Eisen entsteht Kohlensäure und fester Kohlenstoff, der sich in fein verteiltem Zustande auf dem reduzierten, noch mit erdigen Bestandteilen der Erze vermengten Eisen absetzt und von diesem allmählich aufgelöst wird.

Das aus dem Hochofen abgelassene Eisen, welches in Formen aus Eisen oder Sand geleitet wird und in denselben erstarrt, heißt Roheisen.

Der Hochofenprozeß bewirkt also zweierlei und zwar erstens die Ausscheidung des Eisens aus den Erzen und zweitens die Aufnahme von Kohlenstoff in das Eisen.

Der Hüttenmann hat es in der Hand, entweder durch die Wahl der Erze oder durch die Leitung des Hochofenprozesses weißes, graues oder gemischtes Roheisen herzustellen.

Ein Hochofen, der täglich 110 000 kg Roheisen erzeugt, braucht 330 000 kg Erz und Kalk, 100 000 kg Koks und 520 000 kg Wind.

Eisengießerei.

Das Roheisen, welches zur Herstellung von Gußwaren verwendet wird, muß vor allem dünnflüssig sein, damit es in alle noch so feinen Vertiefungen der Formen gelangen kann, und dann darf es sich bei der Erstarrung nicht merklich zusammenziehen. Wir haben gehört, daß das graue Roheisen diese notwendigen Eigenschaften besitzt und deshalb wird diese Roheisensorte beim Gießereibetriebe auch zu allermeist verwendet. Für Hartguß und schmiedbaren Guß eignet sich jedoch besser ein halbiertes Eisen, d. h. ein Gemisch von grauem und weißem Roheisen. Will man Gußstücke von größerer Zähigkeit liefern, so setzt man dem Gußeisen beim Einschmelzen auch wohl Schmiedeeisenabfälle zu.

Das Umschmelzen des Eisens geschieht in Tiegeln, in Flammöfen oder in Kupolöfen.

Die **Tiegel**, aus einem Gemisch von Thon und Graphit geformt und an der Luft getrocknet, werden auf den Rost eines Zugofens gestellt und mit Koks oder Holzkohlen erhitzt. Das umzuschmelzende Roheisen wird in kleinen Stücken angewandt und mit Holzkohle oder Schlacke bedeckt. Der Koksverbrauch ist dem Roheiseneinsatze so ziemlich gleich. Das Gießen in Tiegeln ist sehr einfach und erfordert wenig Vorrichtungen, aber das Verfahren wird teuer durch die häufige Erneuerung der Tiegel, durch den großen Brennmaterialienverbrauch und durch den bedeutenden Eisenverlust, der sich nicht vermeiden läßt. Deshalb findet die Tiegelschmelzerei auch nur da statt, wo es sich um kleinere Gußwaren (Kunstguß) handelt, die schon wegen der teueren Einformung in hohem Preise stehen.

Die **Flammöfen**, welche zum Umschmelzen des Roheisens gebraucht werden, sind aus feuerfestem Mauerwerk aufgebaut, und zur Verhütung des Ausweichens sind sie mit starken gußeisernen Platten umstellt, die untereinander wieder durch schmiedeeiserne Schraubenbolzen befestigt sind.

Ein Flammofen besteht aus dem Feuerraum, dem Herd und dem Schornstein.

Alle drei Abteilungen befinden sich in einer Reihe und der Herd als größter Raum in der Mitte. Herd und Feuerraum sind mit feuerfesten Steinen überwölbt. Der Herdboden ist aus Sand gebildet und hat eine geneigte Ebene zum Schornstein hin, an welcher Seite sich auch die Oeffnung zum Abstieg des flüssigen Eisens befindet.

Der Feuerraum hat eine Thür zum Aufgeben des Brennmaterials und der Herd besitzt eine solche zum Einbringen des kalten Eisens. Außerdem sind noch an zwei Stellen kleine Löcher angebracht, durch die man den Schmelzprozeß beobachten kann.

Die Flamme schlägt aus dem Feuerraum über den Herd, wo sie das Eisen bestreicht und flüssig macht, um dann durch den Fuchs in den Schornstein zu entweichen.

Flammöfen werden für 1250 bis 15000 kg Fassungsvermögen angewandt.

Das Brennmaterial ist Steinkohle und man rechnet den Verbrauch auf 50 bis 90 Prozent vom eingesetzten Roheisen. Der Eisenverlust beträgt durchschnittlich 8 Prozent.

Flammöfen sind da angebracht, wo man schwere Gußstücke gießen will, und wo man mehrere Schmelzungen dicht hintereinander vornehmen kann. Auch gestattet die Einrichtung der Flammöfen besser das Einschmelzen von großen, schwer zu zerkleinernden Stücken, und da durch den oxydierenden Einfluß der Luft eine Verminderung des Siliciums und des Kohlenstoffs im Eisen stattfindet, so wendet man diese Oefen bei der Fabrikation von Hartgußwalzen, Ambosen, Hammerschabotten 2c. gerne an.

Die **Kupolöfen** sind die gebräuchlichsten Oefen zum Umschmelzen des Roheisens.

Man hat kleine Kupolöfen von 0,5 bis 0,6 m Durchmesser mit 1500 bis 3000 kg Fassungsraum und die größten Oefen von 1,5 bis 2,5 m Durchmesser haben einen Fassungsraum von 25000 bis 35000 kg.

Die Kupolöfen bestehen aus einem kräftigen Mantel aus Eisenblech von cylindrischer Form, der mit feuerfesten Steinen ausgemauert ist. Das Eisen wird abwechselnd mit dem Koks, der fast ausschließlich als Brennmaterial benutzt wird, von oben aufgegeben. Der Wind wird durch eine oder mehrere Formen, die in einer Ebene liegen, dem Ofen zugeleitet. Soll der Ofen zum Schmelzen wechselnder Eisenmengen gebraucht werden, so müssen Vorrichtungen getroffen sein, die es ermöglichen, die Formen nach und nach in eine höhere Lage bringen zu können. Als Gebläse dienen Ventilatoren oder Kapselgebläse. Im untersten Teile des Ofens, dem Herde, sammelt sich das geschmolzene Eisen an und fließt durch das Stichloch, welches sich etwa 1 m über der Hüttensohle befindet, ab. Durch wiederholtes Umschmelzen wird die Festigkeit des Eisens wesentlich vermehrt. Der Eisenverlust beträgt bei dem Kupolofenbetrieb durchschnittlich 9 Prozent.

Anmerkung. Allen denen, die sich mit dem Prozeß des Eisengießens eingehend beschäftigen wollen, sei an dieser Stelle das nachstehende, von der gesamten Fachpresse als vorzüglich anerkannte Werk wärmstens empfohlen: Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei. Eine Darstellung des gesamten Betriebes, Regeln für die Anlage der Gießereien und eine Anleitung zur Buchführung und Selbstkostenrechnung enthaltend. Auf theoretisch-praktischer Grundlage bearbeitet und für den Gebrauch in der Praxis bestimmt. Zweite neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 219 Abbildungen. Preis 15 Mk. geheftet; 18 Mk. in Halbfranz geb. Verlag von Bernh. Friedr. Voigt in Leipzig.

Das Frischen des Roheisens oder die Darstellung von Schmiedeeisen und Stahl.

Wir wissen aus dem Vorhergehenden, daß das weiße Roheisen seinen chemisch gebundenen Kohlenstoff leichter an den Sauerstoff der Luft abgibt, als das graue oder gemischte Roheisen, und daß man deshalb mit ersterem hauptsächlich den Frischprozeß vornimmt.

Soll aber ein graues oder halbiertes Eisen verfrischt werden, so muß vorher eine Umwandlung in weißes Roheisen stattfinden, d. h. der mechanisch gebundene Kohlenstoff muß in chemisch gebundenen überführt werden.

Das Frischen bezweckt die Ausscheidung des Kohlenstoffs aus dem Roheisen durch Oxydation bis zu einem Prozentsatze, wie er für Schmiedeeisen oder Stahl günstig ist, und dann bewirkt es die Austreibung der nachteiligen Stoffe, als Schwefel, Phosphor ꝛc. Diese Reinigung findet meistens um so vollständiger statt, je weiter die Entkohlung fortschreitet.

Daher ist zur Erzielung eines möglichst reinen Eisens oder Stahls oft eine vollständige Entkohlung des Eisens und eine nachherige Nachkohlung bis zu dem gewünschten Grade vorzuziehen. Die Verminderung bezw. die Ausscheidung des Kohlenstoffs aus dem Roheisen geschieht durch Oxydation und meistens durch den Sauerstoff der Luft. Es können aber auch beigegebene sauerstoffhaltige Körper, wie z. B. Hammerschlag oder Walzensinter, die Oxydation wesentlich beschleunigen. Das Produkt der Frischarbeit ist entweder teigig — Schweißeisen und Schweißstahl — oder flüssig — Flußeisen und Flußstahl.

Die drei wichtigsten Arten der Frischprozesse sind: der Herdfrischprozeß, der Flammofenfrisch- oder Puddelprozeß und der Windfrisch- oder Bessemerprozeß.

Diese drei Prozesse unterscheiden sich im wesentlichen durch die Art der Luftzuführung.

Der Herdfrischprozeß wird in einem Herde ausgeführt, der einem gewöhnlichen Schmiedeherde sehr ähnlich ist. Als Brennmaterial wird nur Holzkohle verwendet, und als Gebläse dienen gewöhnlich zwei lange, spitze, lederne Blasebälge, die, von den Daumen einer Wasserradwelle gehoben, abwechselnd und mit kurzen Pausen eine nicht geringe Menge Wind auf eine kleine Stelle des Feuers abgeben. Auf dem Herde befindet sich eine viereckige Vertiefung von etwa 30 cm, die man die Herdgrube nennt. In diese Grube, in welcher die Holzkohlen durch den Gebläsestrom verbrennen,

wird das Roheisen langsam hineingeschoben. Das Roheisen wird allmählich flüssig, tropft durch den Gebläsewind hindurch auf den Boden, wo es einen teigigen Klumpen bildet.

Nachdem der Klumpen einigermaßen erkaltet ist, wird er aus dem Feuer gehoben und unter einem schweren Aufwerfhammer in Stücke zerbrochen. Nun wird das Feuer gereinigt, neue Holzkohlen werden aufgegeben und der Schmelzprozeß wird wiederholt. Hat der erste Prozeß dazu gedient, dem Roheisen seinen Siliciumgehalt größtenteils zu nehmen und den im Roheisen vorhanden gewesenen mechanisch gebundenen Kohlenstoff in chemisch gebundenen überzuführen, was man das Feinen nennt, so bewirkt der zweite Schmelzprozeß die Ausscheidung des Kohlenstoffs bis zu einem Grade, wie es für Stahl günstig ist, und diese Arbeit nennt man das Rohfrischen, das Produkt aber heißt Holzkohlen-Rohstahl.

Der teigige Stahlklumpen wird jetzt, nachdem das Feuer abermals gereinigt und wieder mit frischen Holzkohlen gefüllt ist, zum dritten Male wieder geschmolzen. Diesen letzteren Prozeß nennt man das Garfrischen. Um die Oxydation zu beschleunigen, gibt man auch wohl Hammerschlag hinzu.

Beim Garfrischen verliert das Eisen seinen Gehalt an Phosphor, Schwefel und Silicium fast vollständig, und der Kohlenstoff ist bis auf etwa $^1/_2$ Prozent ausgeschieden. Das Eisen bildet jetzt keine zusammenhängende geschmolzene Masse mehr, sondern es besteht aus einzelnen sehr dickflüssigen Klumpen. Diese Klumpen werden unter einem Aufwerfhammer tüchtig übergeschmiedet und somit von der daran haftenden Schlacke befreit. Das mittlerweile erkaltete Eisen wird noch einmal erwärmt und dann in Stäbe von verschiedener Dicke und Länge geschmiedet.

Das Produkt ist Holzkohlen-Stabeisen.

Der Herdfrischprozeß liefert das vorzüglichste Schweißeisen, es ist leicht schmiedbar, leicht schweißbar und zähe.

Aus dem auf gleiche Weise hergestellten Rohstahl erhalten wir durch Raffinieren den wertvollsten Schweißstahl, wie er zum Verstählen von Aexten, Beilen, Schaufeln, Spaten 2c. nicht besser gewählt werden kann. Der zweite Frischprozeß, das Puddeln, geschieht in Flammöfen.

Seit 1784, als Cort und Parnell ein Patent nahmen, kennt man diesen Prozeß, dessen Einführung durch die immer größer gewordene Nachfrage nach schmiedbarem Eisen und Stahl ein Bedürfnis geworden war.

Während man beim Herdfrischprozeß $1^1/_2$ Wochen braucht, um 5000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen oder Stahl umzuwandeln, wird dasselbe Quantum durch das Puddeln in $1^1/_2$ Tag erreicht.

Das Puddelfrischen ist auch deshalb wesentlich billiger als das Herdfrischen, weil nur Steinkohlen verwendet werden.

Der Puddelofen besteht wie jeder Flammofen aus dem Feuerraum, dem Herd und dem Schornstein. Zwischen dem Feuerraum und dem Herd befindet sich die Feuerbrücke, eine niedrige Mauer aus feuerfesten Steinen, welche verhindert, daß die Kohlen mit dem Eisen in direkte Berührung kommen, und der Herd ist mit dem Schornstein durch den Fuchs verbunden. Wird aber die Ueberhitze zum Vorwärmen des Eisens und zur Dampfkesselfeuerung benutzt, wie das sehr oft der Fall ist, so schließt sich an den Herd der Vorwärmeherd und an diesen der Fuchs und der Kessel an, der den Schornstein in seiner Nähe hat. Der Boden des Herdes besteht aus eisernen Platten, und ist mit einer Mischung von einer handhohen Schicht Thonbrei und Hammerschlag muldenförmig ausgestrichen. Der Eiseneinsatz beträgt je nach der Größe des Ofens 250 bis 800 kg.

Man hat einfache Puddelöfen mit einer Arbeitsthüre und doppelte mit zwei Arbeitsthüren.

Ein Doppelpuddelofen frischt in 24 Stunden 10000 kg Eisen und verfeuert dabei 3500 bis 5000 kg Steinkohlen.

In jeder Arbeitsthüre befindet sich eine kleine Oeffnung zur Einführung des Puddelhakens.

Mit dem Puddelhaken, einer vorne hakenförmig gebogenen schweren Eisenstange, wird das Eisen gerührt (gepuddelt), d. h. es werden Furchen gezogen, in welche Luft eindringt, um das Eisen zum Oxydieren zu bringen. Der Puddelprozeß verläuft in ununterbrochener Arbeit. Die Zeitabschnitte des Feinens, des Rohfrischens und Garfrischens gehen ineinander über, und man kann hier keine so scharfen Grenzen beobachten wie beim Herdfrischen.

Der Puddelofen liefert ein kohlenstoffarmes Eisen (Schmiedeeisen), ferner ein kohlenstoffreiches Eisen (Stahl) und dann ein Produkt, welches dazwischen liegt und das den Namen Feinkorneisen führt.

Da das Schmiedeeisen ein sehniges Gefüge hat, Stahl- und Feinkorneisen aber ein körniges Gefüge, so nennt man die Erzeugung des Schmiedeeisens durch den Puddelprozeß, Puddeln auf Sehne und die Darstellung von Stahl und Feinkorneisen im Puddelofen, Puddeln auf Korn. Obgleich für die Erzeugung von Schmiedeeisen und des Stahls dieselben Oefen in Anwendung kommen, so wird der Prozeß doch verschieden ausgeführt, und es werden hierzu auch verschiedene Roheisensorten verwandt.

Beim Puddeln auf Sehne (Schmiedeeisen oder Puddeleisen) verwendet man meistens ein unreines weißes Roheisen, weil dieses langsam einschmilzt und langsam gar wird. Es ist also während des Prozesses Zeit vorhanden, den Kohlenstoff bis auf etwa 1/4 Prozent, wie es für Schmiedeeisen günstig ist, durch den Sauerstoff (durch Oxydation) aus dem Roheisen zu entfernen. Auch Phosphor und Schwefel lassen sich in hinreichender Menge abscheiden, wenn der Prozeß lange genug hingehalten werden kann.

Das Roheisen wird beim Beginne der Arbeit entweder kalt in den erhitzten Herd gebracht und zwar so, daß der Feuerstrom die Oberflächen der einzelnen Stücke gut bestreichen kann, oder es wird, wenn ein Vorwärmeherd vorhanden ist, von diesem das rotglühende Eisen über die Zwischenbrücke in den Herd gezogen und da ausgebreitet. Um den Zug des Feuers steuern zu können, ist auf dem Schornstein eine bewegliche Klappe angebracht. Bei aufgezogener Klappe und gut geschlossenen Arbeitsthüren dauert das Einschmelzen des Roheiseneinsatzes 20 bis 30 Minuten.

Das niedergeschmolzene Eisen, auf welchem jetzt eine Schlackendecke schwimmt, wird mit einer spitzen Eisenstange untersucht, ungeschmolzene Teile werden nach oben gebracht, und was sich auf dem Boden angesetzt hat, wird losgebrochen. Um die Oxydation zu beschleunigen, gibt man Hammerschlag oder Walzensinter zu, was man das Füttern nennt. Beim Einschmelzen des Roheisens findet schon eine Entkohlung statt, aber sobald das eigentliche Puddeln beginnt, d. h. sobald der Puddelhaken in Anwendung kommt, was bei vermindertem Zugwind geschieht, tritt ein Kochen der ganzen Eisenmasse ein, und an den aufsteigenden blauen Flämmchen erkennt man den immer stärker werdenden Grad der Entkohlung. Das Rühren (Puddeln) muß gleichmäßig über dem ganzen Herd geschehen und muß so lange andauern, bis das Dickerwerden des Eisenbades es nicht mehr zuläßt.

Trotz der hohen Temperatur, die man jetzt anwendet, um das Eisen flüssig zu erhalten, bilden sich Eisenkristalle, welche aneinanderschweißen und sich auf den Boden setzen. Die Entkohlung geht sehr schnell vorwärts. Mit Hilfe von Brechstangen sucht man das Eisen in Klumpen von 20 bis 25 kg zusammenzuballen, die man, um eine gleichmäßige Entkohlung zu erhalten, umwendet und von allen Seiten der Oxydation noch weiter aussetzt.

Diese Klumpen oder Luppen, wie man sie nennt, werden mit Zangen aus dem Ofen genommen und unter schweren Hämmern übergeschmiedet, gedichtet und von anhaftender Schlacke befreit. Hierauf kommen diese Luppen noch in einen Schweißofen und werden dann unter Dampfhämmern oder Luppenwalzen in Formen gebracht, wie sie für das Weiterwalzen in Handels- oder Stabeisenform günstig sind.

Obgleich das hier beschriebene Puddeleisen dem durch den Herdfrischprozeß gewonnenen Holzkohleneisen an Reinheit und Gleichmäßigkeit (Homogenität) weit nachsteht, so hat es wegen seiner Billigkeit letzteres fast vollständig verdrängt. Die meisten Schmiede der heutigen Zeit haben überhaupt kein Holzkohleneisen mehr kennen gelernt. Aber wie das Puddeleisen vor 50 und 60 Jahren das Holzkohleneisen verdrängt hat, so wird jenes heute schon immer mehr und mehr vom Flußeisen verdrängt. Seit 10 Jahren verwendet man in sehr vielen Werkzeugfabriken nur noch Flußeisen und wahrscheinlich hat dasselbe nach weiteren 10 Jahren in den Dorfschmieden auch

überall Eingang gefunden. Auf die Herstellung des Flußeisens kommen wir später zurück.

Wir haben im Vorhergehenden das Puddeln auf Sehne besprochen und jetzt soll von dem Puddeln auf Korn, d. h. von der Darstellung des Puddelstahls und Feinkorneisens die Rede sein. Bei diesem Prozeß ist die Hauptbedingung, daß ein kohlenstoff- und manganreiches Roheisen mit ganz geringem Gehalt an Phosphor und Schwefel zur Verwendung kommt. Das Eisen wird bei hoher Temperatur rasch eingeschmolzen, aber das Rühren (Puddeln) dauert länger als beim Puddeln auf Sehne, und der Prozeß des Garens wird nach Möglichkeit verzögert. Die Entkohlung muß ganz langsam vor sich gehen. Bei der Darstellung der Luppen, welche kleiner gebildet werden als bei der Bereitung des Schmiedeeisens, hat man den Luftzutritt möglichst fern zu halten. Man macht bei Puddelstahl 5 bis 6, bei Feinkorneisen 6 bis 8 Einsätze (Chargen) in 12 Stunden. Ein Einsatz wiegt 200 bis 300 kg. Der Kohlenverbrauch beträgt 120 bis 150 kg auf 100 kg Luppen. Der Eisenverlust beträgt 10 bis 12 Prozent. Puddelstahl enthält $^3/_4$ bis 1 Prozent Kohlenstoff, Feinkorneisen $^1/_2$ bis $^3/_4$ Prozent. Der Puddelstahl ist noch weniger gleichförmig als der durch den Herdfrischprozeß gewonnene Holzkohlen-Rohstahl und bedarf deshalb um so mehr einer weiteren Veredelung, bevor er zum Verstählen von Werkzeugen tauglich ist. Diese weitere Verarbeitung, die man das Raffinieren nennt und wovon später gesprochen werden wird, geschieht in derselben Art und Weise wie beim Veredeln des Holzkohlen-Rohstahls.

Das Feinkorneisen wird, nachdem es durch den Puddelprozeß gewonnen ist, durch einen Schweißprozeß verbessert und durch tüchtiges Ueberschmieden gedichtet und von Schlacken gereinigt. Zum Schluß wird es in diejenigen Dimensionen gewalzt, die dem Maschinenbauer, dem Grob- oder Zeugschmiede bequem sind.

Das Feinkorneisen hat zwar eine Stahlnatur, läßt sich aber sehr gut schweißen und findet deshalb da Anwendung, wo man dem Schmiedeeisen die nötige Festigkeit nicht zutraut und wo Stahl wegen mangelnder Schweißfähigkeit nicht verwendet werden kann. Für Schiffs- und Krahnketten, für Zugverbindungen an Eisenbahnwagen, für Hebewerkzeuge ꝛc. ist das Feinkorneisen sehr geeignet.

Wir kommen jetzt zum dritten Frischprozeß, dem Windfrisch- oder Bessemerprozeß.

Das Produkt der beiden vorher beschriebenen Frischprozesse ist ein teigiges, der Bessemerprozeß liefert aber ein flüssiges Produkt, Flußeisen und Flußstahl.

Um 5000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen oder Stahl überzuführen, braucht man durch den Herdfrischprozeß $1^1/_2$ Woche, durch den Puddelprozeß $1^1/_2$ Tag und durch den Bessemerprozeß nur 20 Minuten.

Das durch Puddeln oder Herdfrischen hergestellte Produkt enthält noch viel eingemengte Schlacke und bedarf noch gründlicher Reinigungsprozesse, während das Bessemermaterial in schlackenfreien Gußstücken, die man Blöcke oder Ingots nennt, gewonnen wird, und die nur höchstens einer Verdichtung unter dem Dampfhammer bedürfen, um unter Kaliberwalzen zu Eisenbahnschienen, Transmissionswellen, Façoneisen, Maschinenstücken u. s. w. ausgestreckt zu werden.

Der Bessemerprozeß hat einen ganz großartigen Aufschwung in der Industrie und im ganzen Verkehrsleben hervorgerufen. Ohne diese epochemachende Erfindung wäre der heutige Eisenbahn- und Dampfschiffsverkehr ein Ding der Unmöglichkeit, denn der Puddelprozeß hätte den heutigen Bedarf an Eisen uud Stahl nicht decken können. Man hat ausgerechnet, daß in Europa und Amerika an jedem Arbeitstage 34000 t Bessemerstahl im Werte von 5 Millionen Mark erzeugt werden; das sind jährlich zwischen anderthalb und zwei Milliarden.

Der berühmte Erfinder des Bessemerprozesses, der Ingenieur Henry Bessemer, der im März 1898 gestorben ist, ist im Jahre 1813 als Sohn eines Landedelmanns in Hartfordshire in England geboren. Er zeigte von früher Jugend an eine Leidenschaft, Modelle sich auszudenken und zu verfertigen. Er hatte schon zahlreiche Patente genommen und sich ein bedeutendes Einkommen durch sie gesichert, als er daran ging, ein Verfahren auszuarbeiten, um Roheisen möglichst rasch dadurch in Schmiedeeisen oder Stahl zu verwandeln, daß er alle fremden Bestandteile des Roheisens durch energische Luftzuführung zu verbrennen suchte. Nach jahrelangen, sehr kostspieligen Versuchen gelang es ihm dadurch, daß er durch ein Bad von geschmolzenem Roheisen, welches sich in einem birnenförmigen, mit feuerfesten Quarzziegeln ausgefütterten Gefäß befand, einen starken Luftstrom preßte, der die Verbrennung des Siliciums und des Kohlenstoffs so energisch bewirkte, daß die Temperatur des Metallbades um mehrere hundert Grad stieg und das gebildete, höchst strengflüssige Schmiedeeisen oder der Stahl beim Kippen des drehbar aufgehängten Gefäßes ausfließen konnte. So großartig die neue und kühne Art war, schwere, flüssige Metallmassen in dieser Weise zu behandeln, ebenso bewunderungswürdig war die Energie, mit der Bessemer sein Verfahren, welches nach der ersten von ihm 1856 der British Association in Cheltenham gemachten Mitteilung auf das ungünstigste beurteilt wurde, lebensfähig machte.

Die chemischen Vorgänge sind beim Bessemerprozeß dieselben wie beim Herdfrisch- und Puddelprozeß: Das Feinen, Roh- und Garfrischen; aber die durch Verbrennung des Siliciums, Kohlenstoffs und Mangans erzeugte Wärme wird so zusammengehalten, daß sich das beinahe vollständig entkohlte Eisen noch im flüssigen Zustande befindet und sich gießen läßt.

Geeignet für den Bessemerprozeß ist ein gemischtes Roheisen mit $3\frac{1}{2}$ bis 4 Prozent Kohlenstoffgehalt, mit 2 bis 3 Prozent Silicium, mit 3 bis 4 Prozent Mangan und mit ganz geringem Phosphor- und Schwefelgehalt. Bessemer hat selbst den Satz aufgestellt, daß das nach seinem Verfahren zu verblasende Roheisen nicht mehr als 0,1 Prozent Phosphor enthalten dürfe, wenn das Produkt nicht Kaltbruch zeigen sollte und daß Schwefel auch thunlichst zu vermeiden sei, obschon es sich später bei der Bearbeitung etwas vermindern lassen würde.

Befindet sich die Bessemerhütte im Anschluß an ein Hochofenwerk, so wird das Roheisen von diesem direkt in flüssigem Zustande entnommen; ist das nicht der Fall, so muß es erst in Kupol- oder Flammöfen umgeschmolzen werden. Das Umschmelzen geschieht in derselben Weise wie bei der Herstellung von Gußwaren, nur setzt man, um eine gute flüssige Schlacke zu bilden, 2 bis 4 Prozent Kalk zu.

Der Bessemerprozeß wird in einem Apparate ausgeführt, der die ungefähre Gestalt einer Birne hat und der deshalb auch Bessemerbirne oder Converter genannt wird.

Der Converter besteht aus einem kräftigen Eisenmantel, welcher mit feuerfestem Material ausgefüttert und an zwei Zapfen drehbar aufgehangen ist. Der eine Zapfen ist hohl und steht mit einem Rohr in Verbindung, welches den zum Frischen erforderlichen Wind zuleitet. Von dem hohlen Zapfen aus wird der Wind durch ein zweites Rohr, das sich in seiner Biegung der birnenförmigen Gestalt des Converters anpaßt, bis zum Boden desselben geleitet, um durch dessen zahlreiche Oeffnungen in das Innere des Converters zu gelangen. Der Converter besteht als solcher aus dem größeren Mittelstück mit den beiden Zapfen, dem Oberstück (Haube) und dem Boden, welche mit gußeisernen Flanschenringen versehen und durch Schrauben luftdicht miteinander befestigt sind. Da der Boden durch die Einführung des stark gepreßten Windes am häufigsten reparaturbedürftig wird, so muß derselbe so montiert sein, daß er leicht entfernt werden kann. Das Material, mit dem der Converter ausgefüttert ist, besteht aus feuerfesten Ziegeln und feuerfestem Thon. Erst wird auf die innere Eisenwandung eine handdicke Thonschicht aufgetragen, dann wird mit Ziegeln ausgemauert. Als Bindemittel dient wieder Thon. Nach der Ausmauerung bedeckt man die Ziegel noch mit einer 50 mm starken Thonschicht. Auf die Herstellung des Bodens, welcher auch mit Thon und eigens geformten hart gebrannten Ziegeln bekleidet ist, muß die größte Sorgfalt gelegt werden. In dem Boden befinden sich aus Thonmasse gepreßt 7 und mehr Düsen und jede mit 6 bis 8 Löchern von 10 bis 12 mm Durchmesser. Die Düsen sind derart eingesetzt, daß sie sich rasch erneuern lassen. Unter dem Boden, der die Düsenöffnungen enthält, befindet sich als Abschluß noch ein zweiter eiserner Boden und zwischen dem doppelten Boden ist die Einmündung des Windrohrs. Das Futter des

Converters kann je nachdem 200 bis 500 Einsätze (Chargen) aushalten, aber der Boden muß meistens schon nach 20 Chargen erneuert werden.

Der Einsatz an Roheisen für eine Charge beträgt 1 bis 18 Tonnen; hiernach wird die Größe der Converter bestimmt.

Um den Converter vollständig zu entleeren, muß er beim Kippen $^3/_4$ Umdrehung machen und das wird durch eine durch hydraulische Kraft bewegte Zahnstange, welche in ein auf dem massiven Zapfen befestigtes Stirnrad eingreift, ermöglicht.

Es sind meistens zwei Converter nebeneinander aufgestellt. Ueber jedem Converter befindet sich ein freistehender Schornstein.

Jetzt müssen wir noch einen anderen Apparat, die Gießpfanne, kennen lernen. Diese dient dazu, das flüssige Metall aus dem Converter aufzunehmen und die Gußformen (Coquillen) damit zu füllen.

Die Gießpfanne ist kesselförmig aus Eisenblech gearbeitet und inwendig mit feuerfestem Thon ausgewandet. Die Größe der Pfanne richtet sich nach der Größe des Converters, denn sie muß dessen ganzen Inhalt mit einem Male aufnehmen können. Die Pfanne hängt mit zwei Zapfen an einem Ende eines starken Trägers (Balanciers), welcher von einem hydraulischen Kolben getragen wird. Auf diese Weise ist es möglich, daß die Pfanne sich beim Entleeren des Converters, dessen Mündung folgend, auf und ab bewegen läßt und sie kann auch zu den im Kreise aufgestellten Gußformen (Coquillen) geführt werden, um dieselben zu füllen. Das Entleeren der Pfanne geschieht durch ein im Boden derselben befindliches konisches Loch, welches durch einen von außerhalb regulierbaren, mit feuerfester Masse umkleideten Eisendorn beliebig geöffnet und geschlossen werden kann. Da das Gewicht der Pfanne sich, ob voll oder leer, wesentlich ändert, so ist an dem Träger, der Pfanne gegenüber, ein ausgleichendes bewegliches Gegengewicht angebracht.

Den Wind liefert ein liegendes Zwillingsdampfgebläse von 200 bis 300 Pferdekräften, welches per Minute 150 bis 180 cbm Luft aufsaugt und diese mit starker Pressung in den Converter weiterleitet.

Ein neuer oder neugefütterter Converter wird durch ein in demselben angefachtes Koksfeuer langsam vorgewärmt. Dann steigert man die Windzuführung nach und nach so weit, bis der Converter in Weißglühhitze gerät. Das flüssige Roheisen wird nun entweder aus dem Hochofen oder Kupolofen für jeden Einsatz (Charge) direkt durch Rinnen in den Converter geleitet. Ist die Füllung vollendet, so wird der Converter aufgekippt und sofort läßt man den Luftstrom durch das flüssige Metall hindurchtreten. Es erfolgt jetzt gleich die Verbrennung des Siliciums und eines Teiles Eisen und der mechanisch gebundene Kohlenstoff geht in chemisch gebundenen über. Das ist die Feinperiode, in der sich auch die Schlacke bildet. Aus der Mündung des Converters tritt eine mit Funken gemengte rötliche Flamme und ein

weißer Saum läßt die Verbrennung der brennbaren Gasarten an der Luft erkennen. Die Leuchtkraft nimmt zu und Funken verbrennenden Eisens und weißglühende Schlacke werden sichtbar. Jetzt beginnt die Rohfrischperiode und der Kohlenstoff verbrennt. Die ausströmende Flamme ist sehr hell und stark leuchtend.

Soll direkt Stahl erzeugt werden, so wird der Gebläsestrom abgestellt und der Converter wird umgekippt. Will man Eisen erzeugen, so fährt man mit dem Blasen fort, bis die Entkohlung beinahe ganz zu Ende geführt ist. Das am meisten entkohlte Produkt von 0,05 bis 0,15 Prozent Kohlenstoffgehalt nennt man Nr. 7; es ist ein weiches nicht härtbares Flußeisen. Aus diesem Produkt (weiches Eisen) kann man Stahl herstellen, indem man zur Erhöhung des Kohlenstoffs 5 bis 10 Prozent Ferromangan oder Spiegeleisen zusetzt, dann den Converter wieder aufrichtet und kurze Zeit nachblasen läßt. Das Bessemermaterial wird in sieben Härtegraden erzeugt.

Nr. 1 mit 1,5 Prozent Kohlenstoff ist schmiedbar, gut härtbar, nicht schweißbar;

Nr. 2 mit 1,25 Prozent Kohlenstoff ist gut schmiedbar, härtbar, aber schwer schweißbar;

Nr. 3 mit 1 Prozent Kohlenstoff ist gut schmiedbar, härtbar, aber nur mit Vorsicht schweißbar;

Nr. 4 mit 0,75 Prozent Kohlenstoff ist gut schmiedbar, gut schweißbar und härtbar;

Nr. 5 mit 0,5 Prozent Kohlenstoff ist leicht schmiedbar, leicht schweißbar und wenig härtbar;

Nr. 6 mit 0,25 Prozent Kohlenstoff ist leicht schmiedbar und leicht schweißbar, aber nicht härtbar;

Nr. 7 mit 0,05 Prozent Kohlenstoff ist ein weiches Eisen.

Je härter das Bessemermaterial ist, desto dunkler sieht der Bruch aus und desto feiner ist das Korn. Weiches Material (Flußeisen) hat helleren Bruch. Die Erfindung Bessemers hatte noch einen großen Uebelstand, nämlich den, daß der im Roheisen enthaltene Phosphor nicht genügend entfernt werden konnte. Die saure Schlacke, welche beim Bessemerverfahren entsteht, wirkt ungünstig auf die Oxydation des Phosphors. Der Phosphor zieht wohl in die saure Schlacke hinein, aber die Kieselsäure, eine stärkere Säure als Phosphorsäure, macht diese wieder frei, wobei letztere dann wieder durch Kohlenstoff, Silicium oder Eisen zurückgeführt (reduziert) wird. Es ließen sich nur phosphorarme Erze verwenden und da diese nicht in genügender Menge vorhanden waren, so wurde die Ausdehnung des Verfahrens gehindert. Große Bezirke mit mächtigen Eisensteinlagern, wie z. B. die längs der Mosel in Deutsch-Lothringen lagernden sehr phosphorhaltigen Minetteerze, die, wie es heißt, für 500 Jahre ausreichen, wären von der Teilnahme an den erzielten

Fortschritten und Erfolgen ausgeschlossen geblieben, wenn nicht im Jahre 1878 die beiden Engländer Thomas und Gilchrist mit ihrem Verfahren, auch phosphorreiches Roheisen zu verbessemern, hervorgetreten wären. Das Verfahren beruht auf der Abscheidung des Phosphors durch Erzeugung basischer Schlacke. Zu dem Zweck wird der Converter mit einem fest eingestampften Futter versehen, welches aus Kalk und Magnesia besteht; außerdem wird dem Eisenbade noch 18 bis 20 Prozent gebrannter Kalk als Zuschlag beigegeben.

Das Roheisen wird sonst so behandelt, wie beim Bessemern. Nachdem alle Nebenstoffe des Eisens verbrannt sind, tritt der Phosphor in die entstandene basische Schlacke, und der Bund ist ein so fester, daß er selbst dem weißglühenden Eisen widersteht; dies ist die eigentliche Grundlage des Thomasverfahrens. Wenn auch das Bessemern schon bedeutende Mengen an Flußeisen und Flußstahl geliefert hatte, so hat doch erst die Erfindung des Thomasprozesses die einschneidendsten Wirkungen auf die weitere Entwickelung der ganzen Eisenindustrie ausgeübt.

Der durch den basischen oder Thomasprozeß hergestellte Stahl ist von ausgezeichneter Güte.

Die beim basischen Prozeß entstandene Schlacke (Thomasschlacke), welche durchschnittlich 17,5 Prozent Phosphorsäure, etwa 50 Prozent Kalk, 4,5 Prozent Magnesia, 13 Prozent Eisenoxyd, 7,5 Prozent Kieselsäure und mehr oder weniger Thonerde, Manganoxydul, Schwefel, Schwefelsäure und Vanadinoxyd enthält, wird in Kugelmühlen fein pulverisiert und unter der Benennung „Thomasphosphatmehl" als wichtiges Düngemittel in den Handel gebracht.

Die Thomasschlacke macht etwa 25 Prozent der Stahlerzeugung aus.

Das Patent, welches Thomas und Gilchrist auf ihre Erfindung genommen hatten, ist mit dem Frühjahr 1894 erloschen. Thomas ist schon 1885 im Alter von 35 Jahren in Paris gestorben.

Das Glühfrischen oder die Darstellung von schmiedbarem Guß.

Das Glühfrischen, auch Tempern oder Adoucieren genannt, hat den Zweck, kleinere Eisengußwaren, wie Schlüssel, Schloßteile, Rohrverbinder, Hähne, Nähmaschinen- und Fahrradteile, Gewehrteile, Wagenbeschlagteile,

Schraubenschlüssel zc. durch längeres Glühen mit sauerstoffhaltigen Körpern teilweise zu entkohlen, um sie dadurch weich, zähe und schmiedbar zu machen. Um einen guten schmiedbaren Guß zu bekommen, ist die Verwendung eines wirklich guten halbierten Roheisens eine Hauptbedingung. Das Roheisen wird in Tiegeln, die in einem mit Koks oder Holzkohlen gefeuerten Zugofen aufgestellt sind, umgeschmolzen.

Die Gußwaren werden später lagenweise mit zerkleinertem Roteisenstein, dessen Hauptverbindung Eisen mit Sauerstoff (Eisenoxyd) ist, in gußeiserne Gefäße verpackt und dann in den Glühofen gestellt. Beim Einpacken hat man darauf zu achten, daß die einzelnen Teile allenthalben mit dem Roteisensteinpulver umgeben sind, und daß die größeren Gegenstände mehr nach außen zu liegen kommen, damit dieselben leichter die Hitze des Glühofens aufnehmen können. Ein Glühofen faßt in der Regel 12 bis 18 Gefäße, von denen jedes 30 bis 100 kg Gußwaren enthält. Ist der Ofen fertiggestellt, so fängt man an zu heizen, erst langsam 2 bis 3 Tage hindurch bis zur Rotglut, die man 3 bis 4 Tage unterhält. Glaubt man genug geglüht zu haben, so läßt man den Ofen langsam erkalten. Das Tempern besteht in einer von außen nach innen fortschreitenden Entkohlung der Gußwaren. Um eine gleichmäßige Entkohlung zu erzielen, darf man in einen Glühofen immer nur Gußteile von annähernd gleicher Stärke einsetzen*)

Herdflußeisen und Herdflußstahl.

(Siemens-Martin-Prozeß.)

Im Jahre 1865 stellte man auf dem französischen Werke von Martin und Sireul durch Zusammenschmelzen von Schmiedeeisenabfällen und Roheisen zuerst brauchbaren Flußstahl dar. Obgleich diese Art der Stahlbereitung nicht neu war, so konnte der Prozeß erst mit Erfolg ausgeführt werden, nachdem Siemens einen Gasfeuerungsofen, welcher mit Regeneratoren versehen ist, und mit dessen Anwendung die höchsten Temperaturen erzeugt werden konnten, erfunden und aufgebaut hatte. In dem Siemens-Schmelzofen besteht der Herd aus drei Eisenplatten, von welchen die mittlere horizontal, die beiden Seitenplatten in geneigter Lage gehalten werden. Auf die Bodenplatten wird Sand, mit Thon vermischt, eingestampft. Der Boden erhält eine Neigung zum Abstich. Der Herd ist überwölbt. In der Mitte der einen

*) Vergl. H. Kreusser, Das Eisen, sein Vorkommen und seine Gewinnung. Preis geh. 2 Mark 50 Pfge. Verlag von Bernh. Friedr. Voigt in Leipzig.

Längsseite des Ofens ist die Arbeitsthür und an der entgegengesetzten Seite befindet sich der Abstich. Man baut die Siemens-Schmelzöfen für Einsätze von 3000 bis 20000 kg. Ein Ofen für einen Einsatz von 8000 bis 10000 kg hat etwa folgende Abmessungen: Oberbau 8 m lang, 3 m breit, 2 m hoch. Die unter der Hüttensohle befindlichen Wärmespeicher sind 8 m lang, 3 m breit, 3,5 m tief. Zur Gaserzeugung für einen Schmelzofen dienen 2 bis 3 Generatoren. Dies sind besondere Apparate, in denen aus Steinkohlen durch langsame Verbrennung Kohlenoxydgas erzeugt wird. Das Kohlenoxydgas wird in die Wärmespeicher unter den Schmelzofen geleitet und von da gelangt es, gemengt mit erwärmter Luft, in den Herd, wo es das Eisen zum Schmelzen bringt. Das Roheisen gelangt vorgewärmt in den Herd. Sobald dasselbe vollständig flüssig ist, wird die Schlacke abgezogen. Nun werden bei der höchsten Temperatur Eisen- und Stahlabfälle in vorgewärmtem Zustande eingetragen. Wenn Hammerschlag zur Verwendung kommt, so wird dieser zuletzt eingetragen. Das Bad wird öfters umgerührt und die überflüssige Schlacke zieht man ab. Um den Grad der Entkohlung festzustellen, werden Schöpfproben genommen. Man entkohlt das Eisen so weit wie möglich und setzt behufs Rückkohlung Spiegeleisen oder Ferromangan zu. Der Einsatz besteht aus 25 bis 85 Prozent Roheisen und 15 bis 75 Prozent Eisen- und Stahlabfälle. Der Spiegeleisenzusatz beträgt 5 bis 10 Prozent.

Das Siemens-Martin-Material kommt in 11 Härtegraden von 0,05 bis 0,70 Prozent Kohlenstoffgehalt in den Handel.

Bei Verwendung reinen Roheisens und guter Eisenabfälle kann eine Stahlqualität erzeugt werden, die dem Tiegelgußstahl ähnlich ist.

Das Siemens-Martin-Eisen ist das reinste, gleichmäßigste und gefügigste aller Eisensorten. Es eignet sich besonders für Kunstschmiedereien.

Zementstahl.

In den vorigen Abschnitten haben wir gesehen, wie man Roheisen in Schmiedeeisen, in Stahl und in schmiedbaren Guß verwandelt. Jetzt wollen wir der Stahlbereitung aus Schmiedeeisen für kurze Zeit unsere Aufmerksamkeit schenken.

Ein Stahl, der durch den Herdfrisch- oder Puddelprozeß direkt aus Roheisen hergestellt ist, hat, wie wir wissen, die dritte Frischperiode, d. i. die

Zeit des Garens, in der sich Phosphor und Schwefel am meisten abscheiden, gar nicht durchgemacht und deshalb steht er an Reinheit dem Schmiedeeisen nach.

Wir haben früher schon gesagt, es wäre zur Erzielung eines möglichst reinen Stahls eine fast vollständige Entkohlung und eine nachherige Rückkohlung der direkten Stahlerzeugung aus Roheisen vorzuziehen.

Der Zementstahl ist solch ein bevorzugtes Produkt, und da er neben anderer Verwendung vor allem das Schmelzmaterial für die vollkommenste Stahlart, den Tiegelgußstahl, abgibt, so lohnt es sich, den Verlauf seiner Darstellung etwas näher kennen zu lernen. Man kann aus jeder Sorte Schmiedeeisen Zementstahl machen, aber hier heißt es auch, wie ihr säet, so werdet ihr ernten.

Um das beste zu erzielen, verwendet man ein schwedisches, in Holzkohlenfeuer hergestelltes Eisen, welches in geschmiedeten Stangen von 76 × 16 mm erhältlich ist.

Die Schmiedeeisenstangen werden zum Zwecke der Kohlung in Kisten verpackt, welche aus feuerfesten Ziegeln bestehen. Die Kisten haben in der Regel einen Fassungsraum für 8000 bis 10000 kg Stangeneisen. In einem Zementierofen stehen zwei solcher Kasten. Der Ofen ist überwölbt, damit die Hitze zusammengehalten wird. Der Zementierofen wird mit Steinkohlen gefeuert. Die Flamme bestreicht die Kisten von allen Seiten gleichmäßig. Für den Abzug der Verbrennungsgase bestehen senkrechte Kanäle, die in einen großen Rauchmantel münden. An der Vorderseite des Ofens sind Mannlöcher angebracht, welche zum Eintragen der Eisenstangen dienen. Als Kohlungsmaterial dient Holzkohle. Die Füllung der Kisten geschieht in der Weise, daß am Boden derselben eine Schicht Quarzsand ausgebreitet wird und darauf trägt man eine Schicht Holzkohlen von etwa 60 mm Dicke. Man setzt dann die Eisenstäbe mit der hohen Kante so auf, daß zwischen je zwei Stäben ein kleiner Spielraum bleibt, der mit Holzkohlen ausgefüllt wird. Auf die Schicht von Stangeneisen kommt wieder eine fingerdicke Holzkohlenschicht. Auf diese Art werden etwa 20 Lagen Eisenstangen eingetragen mit den eben so oft sich wiederholenden Holzkohlenschichten. Ueber die Decke der letzten Eisenlage, welche auch wie die unterste Schicht sehr stark aufgetragen wird, kommen Ziegel- oder Eisenplatten und darauf eine Schicht Quarzsand. Aus jeder Kiste läßt man zwei der obersten Stangen (Probierstangen) herausragen.

Ist die Füllung vollendet und sind die Oeffnungen geschlossen, so wird mit der Feuerung begonnen. Der Ofen wird 2 bis 3 ½ Wochen stark geheizt und dadurch sein Inhalt auf Rotglut gebracht und darin erhalten.

Das Eisen nimmt alle Kohlungsgrade bis zu 5 Prozent an. An den herausgezogenen Probestangen kann man den Kohlungsgrad erkennen.

Der Zementstahl hat an der Oberfläche Blasen, die aber bei weiterer Bearbeitung wieder verschwinden und ihm nicht weiter schaden. Durch das Zementieren weist das Material eine Gewichtszunahme von 0,4 bis 0,5 Prozent auf.

Der Zementstahl hat seinen Kohlenstoff in glühendem Zustande aufgenommen und dieser ist um so tiefer eingedrungen, je länger das Glühen angedauert hat. Da die Stäbe von außen stärker gekohlt sind als inwendig, so kann das Produkt nur noch als Rohstahl angesehen werden, der erst durch Zusammenschweißen und Schmieden oder durch Umschmelzen eine Gleichförmigkeit erhält.

Tiegelgußstahl.

Die Gußstahlerzeugung ist eine Erfindung des englischen Uhrenfabrikanten Benjamin Huntsmann. Dieser war im Jahre 1750 der erste, der durch Umschmelzen von Zementstahl und Herdfrischstahl in Tiegeln eine Stahlsorte erzeugte, die heute noch an Schneidfähigkeit unerreicht dasteht.

Die Produktion des Tiegelgußstahls mag hier und da wohl eingeschränkt sein, seit man in der Bessemerbirne und im Siemens-Martin-Ofen, auch in flüssigem Zustande, etwas ähnliches billig erzeugt; aber es gibt bei der Bearbeitung harter Körper noch so viel Nachfrage nach der besten und allerbesten Stahlqualität, daß der Tiegelgußstahlprozeß niemals entbehrlich sein wird. Es gibt auch keine Stahlart, welche so vollkommen gleichartig ist, wie der mit Sorgfalt hergestellte Tiegelgußstahl.

Wir haben gehört, daß das Schmelzmaterial des Tiegelgußstahls Zementstahl ist. Der Zementstahl, dessen Herstellung wir kennen, wird, nachdem er erkaltet ist, in kleine Stücke von Würfelform zerbrochen, was leicht ausführbar ist. Die Stücke werden nach dem Aussehen des Bruches sortiert. Je gröber das Korn, umso höher ist das Material gekohlt. Die richtige Sortierung nach Härte und sonstigen Eigenschaften ist von großer Wichtigkeit.

Die Zementstahlstücke werden in Tiegeln, welche aus Graphit und Thon geformt sind, umgeschmolzen.

Ein Tiegel faßt 20 bis 30 kg Schmelzmaterial. Die Schmelzöfen sind teils Schacht-, teils Flammöfen. Erstere werden mit Koks, letztere mit Generatorgasen geheizt. Es sind Schmelzöfen in Anwendung, die bis zu 20 Tiegel aufnehmen können.

Bei Schachtöfen hat jeder Tiegel seinen besonderen Schornstein, weil man dadurch den Zug besser regeln kann. Bei Flammöfen setzt man die Tiegel gleich mit dem Schmelzmaterial ein, wogegen man bei Schachtöfen die Tiegel erst in Glühhitze bringt und dann durch einen Trichter die Zementstahlwürfel einschüttet.

Beim Einschmelzen findet eine Oxydation statt, die um so stärker ist, je mehr Sauerstoff hinzukommt bezw. je länger der Schmelzprozeß andauert.

Soll aber das Stahlbad den im Zementofen aufgenommenen Kohlenstoff durch die Oxydation nicht merklich verlieren und nicht wieder zu Eisen herabsinken, so muß der Schmelzprozeß nach Möglichkeit beschleunigt werden und das bewirkt ein gewisser Gehalt an Silicium und Mangan, die beide, wie wir wissen, unter anderem die Eigenschaft besitzen, die Schmelzfähigkeit des Stahls bedeutend zu erhöhen.

Silicium und Mangan sind Elemente, welche in dem schwedischen Eisen, aus dem durch Zementieren unser hier behandeltes Schmelzmaterial besteht, nur in geringem Maße vorhanden sind und das spricht für die Güte desselben. Aber wie ein erfolgreicher Diplomat sich bisweilen der ihm nicht beliebten Parteien bedienen muß, um mit deren Hilfe ein notwendiges Gesetz zu stande zu bringen, so muß der Hüttenmann sich bei der Gußstahlschmelzerei auch der beiden genannten Elemente, die er, wie wir aus den Frischprozessen wissen, überall auszutreiben suchte, bedienen, wenn er einen kohlenstoffreichen Gußstahl erzeugen will. Silicium und Mangan werden dem Stahlbade durch die Tiegelwandungen oder durch Zusätze zugeführt.

Beim Schmelzprozeß kann man drei Zeitabschnitte unterscheiden: Das Einschmelzen, das Wallen und Ruhigwerden. Nach dem Wallen muß man den Stahl noch erst eine Zeit lang abstehen lassen, denn man hat die Erfahrung gemacht, daß zu eilig ausgegossener Stahl in der Gußform steigt, blasig ist und beim späteren Gebrauch rissig oder gar brüchig wird. Silicium und Mangan werden hier auch wieder als notwendige Helfer zur Erzielung eines blasen- und rißfreien Gußstahls angesehen. In welchen Mengen Silicium und Mangan in den Stahl aufgenommen werden dürfen, um nicht aus Helfern Verderber zu machen, das ist Sache der Erfahrung.

Ist der Schmelzprozeß beendet, so werden die Tiegel mit einer Zange aus dem Ofen gehoben und der Inhalt wird in eiserne Formen gegossen. Das Gießen erfordert Vorsicht und Geschicklichkeit; besonders hat man darauf zu sehen, daß der Strahl nicht unterbrochen wird. Um größere Stücke zu gießen, entleert man mehrere Tiegel in eine Form oder bringt den Inhalt derselben in eine Gießpfanne und läßt dann von dieser den flüssigen Stahl in die Form gießen.

Der aus der Form genommene Gußstahlblock wird durch Schmieden unter einem Dampfhammer auf ein kleineres Maß gebracht und damit gleich-

zeitig gedichtet, d. h. es findet ein engeres Aneinanderschließen der einzelnen Teilchen statt.

Der zu Werkzeugen zu verwendende Tiegelgußstahl wird in sechs und mehr Härtegraden von 0,8 bis 1,5 Prozent Kohlenstoffgehalt erzeugt.

Als den deutschen Fabrikanten das an Reinheit obenan stehende schwedische Holzkohleneisen noch nicht zur Verfügung stand, weil die Engländer, die in ihrem Lande kein vorzügliches Eisenerz besitzen, auf die ziemlich beschränkte Produktion Schwedens die Hand gelegt hatten, da ließ der in unserem deutschen Vaterlande erzeugte Gußstahl noch manches zu wünschen übrig. Heute aber, wo dem Deutschen die feinsten schwedischen Eisenmarken reichlich zu Gebote stehen, ist der beste deutsche Werkzeug-Gußstahl dem englischen nicht nur gleich, sondern vielfach überlegen. Die Einfuhr von englischem Stahl nach Deutschland hat deshalb auch von Jahr zu Jahr abgenommen. Friedr. Krupp in Essen machte schon 1810 Gußstahl. Seinem Sohne Alfred Krupp gelang es, das Verfahren zur Entwickelung zu bringen, so daß er 1862 einen Gußstahlblock von 21000 kg, der allgemeine Bewunderung erweckte, auf die Londoner Ausstellung schicken konnte und 1887 wurde in Essen ein Geschützrohr von 14300 kg gegossen.

Bei Kanonenrohren, Preßcylindern u. s. w. hat der Stahl nicht die Aufgabe der großen Schneidfähigkeit, wie man sie von einem Bohrer oder Drehmeißel erwartet, zu erfüllen, sondern hier ist das durch und durch gleichmäßige, innige Gefüge der gewaltigen Gußstahlkörper, die den ungeheuren Zerstörungskräften den hartnäckigsten Widerstand leisten, zu bewundern. Es ist aber selbstverständlich, daß unsere deutschen Gußstahlwerke auch den Stahl zur Bearbeitung ihrer Erzeugnisse selbst herstellen. Indem die Werke den Werkzeugstahl selbst benutzen, bleiben sie am sichersten von dessen Brauchbarkeit unterrichtet und entheben sich und den Händler dadurch mancher Unannehmlichkeiten.

Stahl-Façonguß.

Der in der Bessemerbirne und im Siemens-Martin-Ofen erzeugte Flußstahl, wie auch der in Tiegeln hergestellte Gußstahl, werden zum größten Teil in gußeiserne Formen gegossen, in denen man sie zu Blöcken oder Ingots erstarren läßt, die dann später durch Schmieden oder Walzen in Formen des Gebrauchs gebracht werden.

Es wird aber auch ein Teil des Fluß- oder Gußstahls direkt in Masseformen gegossen und auf diese Art stellt man verschiedene Maschinenteile, Zahnräder und andere derartige große und kleine Stücke aus Stahl her, die man als Façonguß bezeichnet. Martinstahl liefert bessere Güsse als Bessemer- und Thomasstahl; die dichtesten Güsse gibt aber der Tiegel-Gußstahl.

Die erstarrten Gußstücke müssen sehr langsam abgekühlt werden und es werden dieselben noch längere Zeit in Flammöfen geglüht und dann in Sand eingegraben. Die langsame Abkühlung und auch das Glühen ist notwendig, um das Eintreten von inneren Spannungen und das Entstehen von Rissen in den Gußstücken zu verhindern.

Die erkalteten Gußstücke werden gereinigt und dann weiter bearbeitet.

Raffinierstahl.

Sowohl der durch den Herdfrischprozeß gewonnene Holzkohlenstahl, als auch der durch den Puddelprozeß hergestellte Puddelstahl, sind noch unfertige Fabrikate, weil der in ihnen enthaltene Kohlenstoff sehr ungleichmäßig verteilt ist und weil sie noch manche schädliche Schlackenteile enthalten. Um diese Stahlarten für die Anfertigung oder für das Verstählen von Schneidwerkzeugen brauchbar zu machen, bedürfen sie einer gründlichen Nacharbeitung durch Schweißen und Schmieden, was man Raffinieren oder Gerben nennt.

Dieses Raffinieren geschieht in Hammerwerksanlagen, die durch Wasserkraft getrieben, in den Thälern des Bergisch-Märkischen Industriebezirks zu Hunderten anzutreffen sind. Jene meistens sehr idyllisch gelegenen Anlagen, die man kurzweg „Hammer- oder Raffinierhammer“ nennt, sind sich einander so ähnlich, daß man glauben könnte, sie wären von ein und demselben Manne erbaut worden.

Die Raffinierhämmer haben in der Zeit, da der Schweiß- und Stählstahl noch ein viel gefragter Artikel war, wo man Feilen, Sägen, Sensen, Häckselmesser und dergleichen Werkzeuge daraus verfertigte und wo in jeder kleinen Landschmiede jährlich mehrere Zentner davon verbraucht wurden, einen guten Gewinn abgeworfen.

Die Einträglichkeit des Raffinierens ließ aber nach, als man in den fünfziger Jahren dazu überging, für gewöhnliche Feilen und andere in größeren Mengen gebrauchten Werkzeugen auch Zementstahl zu verwenden.

Obgleich der Zementstahl, wie wir wissen, ebensowenig gleichförmig ist, wie der Herdfrisch- und Puddel-Rohstahl, (er ist nur reiner als der letztere) so veranlaßte der billigere Preis doch manchen Werkzeugfabrikanten, ihn an Stelle des Raffinierstahls zu verwenden. In den sechziger Jahren machte sich der Mangel an Aufträgen auf Schweiß- und Stählstahl immer fühlbarer und viele Besitzer von Raffinierhämmern änderten diese in Breitehämmer um, was mit geringen Unkosten verknüpft ist.

Die Breitehämmer liefern Halbfabrikate, als: Pflugschare, Spaten- und Hackenblätter u. s. w.; sie haben dem Landschmiede eine große Erleichterung geschaffen.

Die Breitehämmer, welche anfänglich viel verstähltes Gebreite lieferten, wurden nun Abnehmer der Raffinierhämmer. Das dauerte aber nur bis gegen Mitte der siebenziger Jahre, als der Bessemerstahl in Gebrauch kam. Heute wird in den Breitehämmern mit geringen Ausnahmen nur Thomas- und Martinmaterial verarbeitet.

Die nähere Beschreibung der Hämmer, unter denen der Raffinierstahl geschmiedet wird, wollen wir auf später verschieben, wo in einem besonderen Abschnitt von diesen und anderen Apparaten, die zum Dichten und zur Formgebung des Eisens und Stahls dienen, die Rede sein wird.

Die Raffinierhämmer erhalten den Herdfrisch- oder Puddelstahl in Stäben von 30 bis 50 mm vierkantig. Diese werden in Oefen, die den gewöhnlichen Schmiedeherden gleichen, aber eine niedrig überwölbte Feuerstelle haben, damit die Hitze besser zusammenbleibt, erwärmt und auf Schienen oder Lamellen von ca. 50 mm Breite und 10 mm Dicke ausgereckt, was man das Plätten nennt. Die Schienen werden, noch in der Schmiedehitze, in Wasser abgelöscht, dann in Stücke von $\frac{1}{2}$ m und kürzer zerbrochen und nach dem Ansehen des Korns sortiert. 25 bis 30 Schienen werden aufeinandergelegt, an der einen Kopfseite mit einer schweren Zange umfaßt und darin festgehalten, bis die andere Hälfte des Bündels geschweißt und geschmiedet ist. Ist die zweite Hälfte des Pakets auch geschweißt und ausgereckt, so wird der Stab, der eine Länge von $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ m erhalten hat, in der Mitte eingekerbt und umgebogen. Die beiden aufeinanderliegenden Hälften werden abermals geschweißt und ausgereckt. Der so erhaltene Stahl heißt einmal gebogener und einmal geplätteter Stahl. Ist der Rohstahl gut gewesen und die Raffinierarbeit mit Vorsicht und Geschicklichkeit ausgeführt, so hat man durch dieses Verfahren schon einen sehr brauchbaren Schweißstahl erhalten. Besser ist es jedoch für die Gleichförmigkeit und Reinheit des Stahls, wenn mit der Schweiß- und Reckarbeit fortgefahren wird und so unterscheidet man je nach der öfteren Wiederholung des Raffinierverfahrens ein-, zwei-, drei- und sogar viermal raffinierten Stahl. Nach dem Raffinieren wird der Stahl in die Maße geschmiedet, die für den Abnehmer bequem sind.

In der Regel steht auf jedem Stabe aufgeschlagen, wie viel Verfeinerungsprozesse der Stahl durchgemacht hat.

Es könnte interessieren, auf eine letzte Stahlsorte hinzuweisen, die zwar wenig hergestellt wird, aber doch dem Namen nach gut bekannt ist und das ist der

Damaststahl.

Dieser Stahl, welcher hauptsächlich zu Säbelklingen und Gewehrläufen verwendet wird, ist auch ein Produkt der Raffinierstahlhämmer. Er wird erzeugt durch Zusammenschweißen einer Menge abwechselnd aufeinandergelegter dünner Eisen- und Stahlstäbchen. Die dadurch entstandene Stange wird gereckt und in mehrere Teile zerhauen, welche wieder zusammengeschweißt werden. Durch Wiederholung dieses Schweißens in Verbindung mit Drehen, Biegen, Auskerben, Stauchen ꝛc. bildet sich nach dem Ausschmieden, Härten, Schleifen und Aetzen ein Fabrikat, welches durch helle und dunkle Linien die bekannten regelmäßigen Zeichnungen zeigt.

Hiermit haben wir die Herstellung der wichtigsten Eisen- und Stahlarten in großen Zügen kennen gelernt. Bevor wir uns aber eingehender mit den besonderen Eigenschaften derselben befassen und erfahren, wie sie im werkthätigen Gebrauch behandelt werden sollen, wie vor allem der Werkzeugstahl behandelt werden muß, damit die Eigenschaft der Schneidfähigkeit zur vollen Geltung kommt, lassen wir zum besseren Verständnis eine Aufstellung der besprochenen Eisen- und Stahlarten folgen, wie sie durch die verschiedenen Verfahren entstehen.

Diese systematische Aufstellung wird dem Leser über die verschiedenen Gewinnungsmethoden, die bei manchem Unkundigen eine Verwirrung hervorrufen, am besten Klarheit verschaffen.

Durch reduzierendes Schmelzen der Eisenerze in Hochöfen entsteht

Roheisen

mit Graphit **graues Roheisen** daraus entsteht in Tiegeln, Flammöfen oder Kupolöfen	mit chemisch gebundenem Kohlenstoff **weißes Roheisen** daraus entsteht durch den							
	Herdfrischprozeß in teigigem Zustande		Puddelprozeß in teigigem Zustande		Windfrischprozeß in flüssigem Zustande		Siemens-Martin-Prozeß in flüssigem Zustande	
Gußeisen weiter durch Gießen in Formen **Eisengußwaren** weiter durch Glühen derselben **schmiedbare Eisengußwaren** oder **Temperguß.**	**Holzkohlen-Rohstahl** weiter durch Raffinieren **raffinierter Holzkohlen-stahl** weiter durch Verschweißen mit Holzkohleneisen **Damast-stahl.**	**Holzkohlen-Roheisen** weiter durch Zementieren **Zementstahl** weiter durch Umschmelzen in Tiegeln **Gußstahl** weiter durch Gießen in Formen und Glühen **Tiegelstahl-Façonguß.**	**Puddelstahl** weiter durch Raffinieren **Raffinier-stahl.**	**Puddeleisen** weiter durch Zementieren **Zementstahl** weiter durch Umschmelzen in Tiegeln **Gußstahl** weiter durch Gießen in Formen und Glühen **Tiegelstahl-Façonguß.**	**Bessemer-Flußstahl** oder **Thomas-Flußstahl** weiter durch Gießen in Formen und Glühen **Flußstahl-Façonguß.**	**Bessemer-Flußeisen** oder **Thomas-Flußeisen.**	**Martin-Flußstahl** weiter durch Gießen in Formen und Glühen **Martin-Flußstahl-Façonguß.**	**Martin-Flußeisen.**

Die besonderen Eigenschaften des Eisens und des Stahls und deren Behandlung.

Von den allgemeinen Eigenschaften des Eisens ist bereits früher die Rede gewesen und wir wissen, daß es vornehmlich der Kohlenstoff ist, der dasselbe schmiedbar, schweißbar, härtbar und schmelzbar macht. Wir haben auch gehört, daß Mangan, Silicium, Phosphor und Schwefel auf die Beschaffenheit des Eisens schädlich wirken, daß aber die ersteren drei Elemente in gewissen Fällen nützlich sein können, wenn sie nicht in einem das Notwendige übersteigenden Maße vorhanden sind.

Die Eigenschaften des Eisens und Stahls lassen sich erkennen:

1. Durch die äußere Beschaffenheit und das Aussehen des Bruches, jedoch in beschränktem Maße;
2. Durch das Verhalten beim Schmieden, Schweißen, Walzen und Härten;
3. In kaltem Zustande durch das Verhalten gegen äußere Einflüsse in Bezug auf Dehnbarkeit, Federkraft, Festigkeit und Härte.

Wenn man ein Stück Eisen oder Stahl in die Hand bekommt, so beobachtet man, abgesehen von Form und Abmessung, zuerst die Farbe und die sonstige äußere Beschaffenheit.

Die Farbe soll blaugrau bis schwarzgrau sein, rote Farbe rührt meist von kalter Walzung her und sind solche Stücke in der Regel weniger fest und geschmeidig, dagegen sind geschmiedetes Eisen und Stahl fast immer rötlich.

Die Oberflächen des Eisens müssen glatt sein mit scharfen Ecken. Schieferige Stellen und Sandlöcher deuten auf ein unganzes Material hin, welches mit Schlackenteilen durchsetzt ist, die den Zusammenhang unterbrechen und die Festigkeit in nachteiliger Weise beeinträchtigen. Das scharfkantig gewalzte Eisen zeigt mitunter an den Kanten Risse oder Sprünge und diese lassen sich zuweilen bei der Bearbeitung nicht entfernen. Ein derartiges Eisen, welches man kantrissig nennt, enthält nachteilige Elemente wie Silicium, Phosphor oder Schwefel.

Beim Stahl bemerken wir seltener äußerliche Fehler, weil jede Stange vor dem Versande besichtigt wird. Im übrigen deuten fellige Stellen beim Raffinierstahl auf Schlackenteile oder mangelhafte Schweißung und Blasen und Risse beim Gußstahl sind meistens auf einen übereilten Gießprozeß oder auf eine Unterbrechung des Strahls beim Füllen der Formen zurückzuführen.

Nach dem Aussehen des Bruches auf die Güte oder den Kohlenstoffgehalt zu schließen, hat seine Schwierigkeiten. Man kann wohl bei Eisen sehniges, zackiges und körniges Gefüge unterscheiden und danach auf weiches oder härteres Material schließen, aber viel weiter geht die Beurteilung auch nicht, denn die Beschaffenheit der Bruchfläche hängt nicht allein von der Güte und Reinheit ab, sondern von der mehr oder weniger häufigen Bearbeitung und der Art der Bearbeitung.

Das durch den Herdfrisch- und Puddelprozeß gewonnene Eisen hat z. B. einen zackigen Bruch. Durch Schmieden wird der Bruch körnig und durch weiteres Walzen erhält er ein sehniges Gefüge. Bei sehnigem Eisen, welches anhaltenden Schwingungen und Stößen ausgesetzt ist, verwandelt sich der sehnige Bruch in grobkörnigen, was wir bei gebrochenen Achsschenkeln oder Scherenbolzen beobachten können.

Feinkorneisen zeigt auf dem Bruche ein feines Korn mit mattem Silberglanz.

Für die meisten Maschinenteile empfiehlt sich ein gemischtes Eisen, welches Sehne und Korn zeigt.

Beim Stahl läßt sich durch den Bruch wohl unterscheiden, ob er in teigigem oder flüssigem Zustande hergestellt ist, denn der beste Raffinierstahl erlangt nie die große Gleichförmigkeit des gegossenen Stahls.

Die verschiedenen Flußstahlsorten lassen sich indessen durch den Bruch kaum voneinander unterscheiden, und der beste Martinstahl hat ein so feines gleichmäßiges Gefüge, daß selbst Fachleute ihn auf alleinige Beurteilung des Bruches hin für Tiegelgußstahl halten können.

Beim Erwärmen des Eisens und des Stahls kommen manche schlechte Eigenschaften an den Tag. So trifft man Eisen an, welches sich in der Weißglühhitze recht gut bearbeiten läßt, das aber bei weiterer Bearbeitung, besonders in Rotglut, Risse und Sprünge bekommt. Dieses Eisen wird rotbrüchig genannt und die Ursache ist auf einen oft kleinen Gehalt an Schwefel oder Kupfer zurückzuführen.

Wenn ein Eisen sich in rotglühendem Zustande gut schmieden läßt, aber beim Kaltwerden leicht zerspringt, so nennt man es kaltbrüchig. Diese Eigenschaft rührt von einem gewissen Gehalt an Phosphor her.

Erhält ein Eisen, sowohl in der Hitze, als auch in kaltem Zustande leicht Brüche oder unganze Stellen, so ist es nicht genügend geschweißt und von Schlacken befreit worden; man bezeichnet den Fehler mit Rohbruch.

Unter faulbrüchigem Eisen wird ein hartes, aber sprödes Material verstanden, das durch starke Schläge zerbröckelt. Die Ursache ist ein Gehalt an Silicium.

Gutes Eisen muß sich in jeder Hitze, auch in der Weißglut leicht bearbeiten lassen; man muß es in ganz dünne und schwierige Formen schmieden, recken, breiten, walzen oder ziehen können, ohne daß es rissig oder

brüchig wird; man muß es biegen, spalten, pressen, stauchen und lochen können, ohne unganze Stellen zu bemerken.

Es muß sich bei reinen Berührungsflächen auch leicht und sicher schweißen lassen.

Freilich gibt es Eisensorten, die sich gut schweißen lassen und doch nichts taugen, weil sie sich brüchig zeigen, wenn sie in kaltem Zustande bearbeitet werden. Dem kaltbrüchigen Eisen, welches sich beim Schmieden auch ganz zufriedenstellend verhält, gibt, wie wir gehört haben, ein gewisser Phosphorgehalt diese nachteilige Eigenschaft.

Beim Stahl ist die Härtungsfähigkeit die wichtigste Eigenschaft. Mit dieser Eigenschaft, nach Erwärmung bis zur Rotglut durch plötzliches Abkühlen hart zu werden, ist dem Praktiker aber allein noch nicht gedient, denn wenn der Stahl nach dem Härten nicht so viel Zähigkeit besitzt, daß dadurch einer Trennung der einzelnen Teilchen so viel Widerstand geleistet wird, damit er steht und nicht ausbricht, und wenn er vor dem Härten nicht die Fähigkeit besitzt, sich leicht bearbeiten zu lassen, dann ist er für schneidende Instrumente nicht zu gebrauchen.

Auf diese drei Punkte, die Härtungsfähigkeit, Zähigkeit nach dem Härten und leichte Bearbeitung vor dem Härten richtet deshalb auch der Stahlfabrikant sein besonderes Augenmerk.

Die Härtungsfähigkeit besitzen zwar alle Stahlarten, aber doch in sehr verschiedenen Graden. Am härtesten wird der Gußstahl, dann folgt der bessere Flußstahl und zuletzt der Raffinierstahl.

Die meiste Zähigkeit besitzt der Raffinierstahl, dann folgt der bessere Gußstahl, und die wenigste Zähigkeit finden wir im allgemeinen beim Flußstahl.

In der leichteren Bearbeitung vor dem Härten hat der Raffinierstahl wieder den Vorzug, dann folgt der Flußstahl und zuletzt der Gußstahl.

Aus Gußstahl verfertigt man vornehmlich solche Werkzeuge, die zur Bearbeitung von Stahl, Eisen, Hartguß, Stahlguß, von harten Gesteinsarten, von Elfenbein u. s. w. dienen.

Für die Bearbeitung weicherer Metalle und für Werkzeuge, die in losem Boden gebraucht werden, wie Spaten, Schaufeln, Pflugschare, auch für die Herstellung von Werkzeugen für den Bergbau, Weg- und Eisenbahnbau sind bessere Flußstahlsorten sehr geeignet.

Mit dem Raffinierstahl, dem seine große Schweißfähigkeit sehr zu gute kommt, verstählt man eiserne Werkzeuge als Aexte, Beile, Hacken, Sensen, Schreiner-, Sattler- und Bildhauerwerkzeuge ꝛc., deren Herstellung aus hartem Stahl, wegen der schwierigen Formen oft unausführbar ist.

Auch hat man auf diese Weise bei Schneidwerkzeugen, mit denen auch viel gebogen wird, wie z. B. beim Stemmbeitel, weniger ein Abbrechen der Schneide zu befürchten, da der Stahl durch das anliegende oder um-

gebende zähe Schmiedeeisen in ähnlicher Art geschützt wird, wie das Reißblei durch die Holzfassung beim Bleistift.

Eine sehr wichtige Eigenschaft beim Schmiedeeisen und Stahl ist die Festigkeit derselben.

Von der Kraft, mit welcher die einzelnen Teilchen zusammenhängen und von dem Widerstand, den sie einer Trennung derselben durch äußere Kraft entgegensetzen, hängen die Dimensionen ab, die man den zu verfertigenden Gegenständen zu geben hat.

Der Widerstand der Trennung ist sehr verschieden nach der Art und Weise, in welcher äußere Kräfte auf Eisen und Stahl einwirken.

Man unterscheidet fünf Arten von Festigkeit:

1. **Zugfestigkeit.** Sie kommt zur Geltung, wenn ein an einem Ende befestigter Stab oder Draht, an dem anderen Ende gezogen, oder durch angehängtes Gewicht belastet wird. Man hat auf Grund von Versuchen nachstehende Zahlen über die Zugfestigkeit aufgestellt, nach denen sich der Praktiker richten kann, wenn er den anzufertigenden Gegenstand genügend haltbar herstellen will, ohne durch übermäßige Stärken das Material zu verschwenden.

Demnach beträgt die zulässige Belastung auf Zug für den Quadratmillimeter Querschnitt:

Bei guter Qualität	Schweißeisen (Stabeisen)	= 7,5	kg
	Eisendraht	= 12	„
	Stahldraht	= 14,5	„
	weichem Gußstahl	= 15	„
	gehärtetem Gußstahl	= 20	„

So kann z. B. gutes Schweißeisen auf Zug belastet werden

13 mm	□	(= 169 qmm	Querschnitt	à 7,5 kg)	mit	1268 kg
20 „	○	(= 314 „	„	à 7,5 „)	„	2355 „
26 „	□	(= 676 „	„	à 7,5 „)	„	5070 „

ferner guter gehärteter Gußstahl

13 mm	□	(= 169 qmm	Querschnitt	à 20 kg)	mit	3380 kg
20 „	○	(= 314 „	„	à 20 „)	„	6280 „
26 „	□	(= 676 „	„	à 20 „)	„	13520 „

2. **Die Druckfestigkeit.** Unter Druckfestigkeit versteht man den Widerstand, welcher verhältnismäßig kurzen Stücken einem Gewicht oder Druck von oben entgegengesetzt wird.

Die zulässige Belastung durch Druck beträgt pro Quadratmillimeter Querschnitt:

bei gutem Schweißeisen	= 10	kg
„ „ weichem Gußstahl	= 20	„
„ „ gehärtetem Gußstahl	= 30	„

Bei der Druckfestigkeit kommt die Gestalt des Querschnitts ebenso wenig in Betracht wie bei der Zugfestigkeit.

3. **Bruchfestigkeit.** Wenn ein Stab quer über zwei Stützen gelegt oder mit einem Ende oder beiden Enden fest eingeklemmt ist und dabei an irgend einer oder mehreren Stellen oder auch seiner ganzen Länge nach von Kräften beansprucht wird, die einen Winkel zu seiner Längsrichtung bilden, so tritt seine Bruchfestigkeit in Kraft. Das ist z. B. der Fall bei Achsen, Trägern, Brechstangen ꝛc.

Da nun aber bei demselben Material die Festigkeit je nach der Gestalt des Querschnitts sehr verschieden ist, denn eine quadratische Stange besitzt z. B. einen größeren Widerstand gegen das Abbrechen als eine runde von gleich großem Querschnitt, und eine flache Stange bricht nicht so leicht, wenn sie hochkantig liegt als flach, und da ferner die Bruchfestigkeit von der Angriffsweise der Kräfte, d. h. von der näheren oder weiteren Entfernung vom Unterstützungspunkte abhängt, so kann man im allgemeinen keine Zahlen für diese Art der Festigkeit geben, jedoch darf man annehmen, daß Stahl fast die doppelte Bruchfestigkeit von Eisen besitzt.

4. **Schubfestigkeit.** Ist ein Stab auf einer sehr widerstandsfähigen, scharfkantigen Unterlage so angebracht, daß ein Teil von ihm darüber hervorragt, während eine Kraft bestrebt ist, den überstehenden Teil durch Niederdrücken eines scharfkantigen, dicht an der Unterlage vorbeistreifenden Stücks abzutrennen, so wird die Schubfestigkeit in Anspruch genommen.

Auf Schubfestigkeit werden z. B. die Nietbolzen bei Nietverbindungen beansprucht.

Die zulässige Schubfestigkeit wird pro Quadratmillimeter angenommen:

bei gutem Schmiedeeisen auf	6	kg
„ „ weichem Gußstahl auf	16	„
„ „ gehärtetem Gußstahl auf	24	„

5. **Drehungsfestigkeit** ist der Widerstand, den ein Stab dem Zerdrehen entgegensetzt, z. B. bei Bohrern, Wellen ꝛc.

Obgleich die Beschreibung der verschiedenen Festigkeitsarten eigentlich nicht in das Kapitel über die Eigenschaften des Eisens und Stahls gehört, so haben wir sie hier doch erwähnt, um zu zeigen, wie weit der Stahl, und besonders der Gußstahl, dem Eisen an Festigkeit überlegen ist, und wie ratsam es ist, zu Vorrichtungen, die Lasten tragen oder Lasten heben, der Sicherheit und der Gewichtsersparnis wegen, nur Stahl und zwar guten Stahl zu verwenden.

Die im teigigen Zustande hergestellten Eisen- und Stahlarten bedürfen längst nicht einer so vorsichtigen Behandlung wie die im flüssigen Zustande erzeugten Sorten. Sämtliche Produkte des Herdfrisch- und Puddelprozesses sind gut schweißbar, und man braucht bei deren Erwärmung gar nicht so

ängstlich zu sein; dagegen erfordern Flußeisen, Flußstahl und Gußstahl, besonders aber der Werkzeug-Gußstahl, große Vorsicht beim Hitzegeben.

Daß die Produkte des Herdfrisch- und Puddelprozesses weniger empfindlich sind gegen hohe Temperaturen im Schmiedefeuer, erklärt sich dadurch, daß sie noch Schlackenteile eingemengt enthalten, also noch etwas abzugeben haben, an dem die Flamme zehren kann, ohne die Eisenteilchen als solche zu zerstören, oder deren Verbindungen untereinander dauernd aufzulösen.

Jedes Schweißeisen und jeder Schweißstahl gibt bei lebhafter Weißglühhitze mehr oder weniger flüssige Schlacke ab, aber dieser Abgang hinterläßt in dem Material selbst keine dauernden Lücken; wir finden im Gegenteil, daß dasselbe, nachdem es übergeschmiedet wurde, an Dichtigkeit zugenommen hat, und daß sich zwei und mehr in saftiger, triefender Hitze aufeinander gelegte Stücke durch Hammerschläge so fest und innig verbinden, daß von einer Schweißnaht oder Löcherigkeit nichts zu entdecken ist, ja daß man selbst mit Gewalt die Schweißstelle nicht wieder bloß legen kann.

Es soll aber nicht gesagt sein, daß man das schweißbare Material, weil es weniger empfindlich ist gegen hohe Temperaturen, als das im flüssigen Zustande erhaltene Material, im Schmiedefeuer nur mit halber Aufmerksamkeit zu behandeln brauche. Nein, da muß wohl aufgepaßt werden, denn je edler und reiner das Schweißeisen oder der Schweißstahl ist, um so weniger Schlackenteile enthalten sie, um so geringer ist die Schweißfähigkeit und um so weniger Hitze dürfen sie bekommen.

Durch Ueberhitzen wird häufig Stahl verdorben, und gerade der beste Stahl wird dadurch am meisten gefährdet, da er am empfindlichsten gegen Hitze ist.

Da Raffinierstahl ein viel edleres, schlackenfreieres und reineres Produkt ist als das gewöhnliche Puddeleisen, so muß, wenn die beiden Arten in der Schweißhitze miteinander verbunden werden sollen, mit dem Hitzegeben, entsprechend ihrer Werte an Reinheit, verfahren werden. Das Puddeleisen darf saftige Hitze haben, das sind etwa 1400° C., der Stählstahl würde aber an Güte verlieren, er würde verbrennen, wenn man ihn über hellkirschrot, das sind etwa 1000° C., erwärmte. Schweißeisen schmilzt bei 1600° und Stahl schon bei 1300 bis 1400° C. Flußeisen, Flußstahl und Gußstahl sind schlackenfreie Produkte mit feinkörnigem, gleichmäßigem (homogenem) Gefüge. Weil diese Produkte im wesentlichen nur aus ihren Eisenteilchen mit Kohlenstoff bestehen, so haben sie beim Erwärmen nichts zu entbehren. Werden sie aber überhitzt, so bleibt es nicht aus, daß ein Teil des Kohlenstoffs ausscheidet, und daß eine Lockerung des Gefüges stattfindet, wodurch der Bruch grob erscheint. Man kann den Fehler aber durch Hämmern in geringer Temperatur wieder gut machen und auf diese Weise auch den feinkörnigen Bruch wieder herstellen; das Produkt bleibt aber empfindlich gegen Ueberhitzung. Man nimmt an, daß überhitzter Stahl

sich nicht häufig härten läßt. Je höher der Kohlenstoff, je leichter ist eine Ueberhitzung möglich und daraus folgt, daß man die edelste unter den Stahlarten, den Werkzeug-Gußstahl, welcher den höchsten Kohlenstoffgehalt besitzt, mit der allergrößten Vorsicht zu erwärmen hat.

Auch Flußeisen muß mit großer Vorsicht erwärmt werden; man kann es sehr leicht überhitzen. Für die Schweißbarkeit des Flußeisens kann nur bei den untersten Nummern bis 0,10 Prozent Kohlenstoff garantiert werden.

Bei den höher gekohlten Flußeisensorten wendet man in der Regel Schweißpulver an.

Wenn ein Stahl beim Erwärmen dem Einfluß des Sauerstoffs ausgesetzt wird, was z. B. der Fall ist, wenn sich unverbrannte Luft im Feuer befindet, so kann derselbe leicht verbrennen, d. h. der Sauerstoff der Luft verbrennt dann den Kohlenstoff des Stahls und macht ihn an Stellen weicher. Bei solcher Gelegenheit büßt der Stahl seine Zähigkeit auch fast vollständig ein.

Die Schäden des Verbrennens können durch Erwärmen in Holzkohlen und nachheriges Ueberschmieden in schwacher Hitze wohl einigermaßen wieder gebessert werden, aber der Stahl bleibt fortan in noch höherem Maße empfindlich als der überhitzte Stahl.

Wird ein Stahl überhitzt und auch durch Einwirkung von Sauerstoff entkohlt, dann ist er zur Verarbeitung zu Werkzeugen unbrauchbar.

Die Erwärmung des Stahls muß so geleitet werden, daß keinerlei Einwirkungen auf denselben stattfinden, und daß durch ungleich fortschreitende Erwärmung keine Spannungen hervorgerufen werden.

Diese Vorschriften sind im Holzkohlenfeuer am leichtesten einzuhalten, danach im Koksfeuer und am schwierigsten im Steinkohlenfeuer.

Im Holzkohlenfeuer kann man den Stahl kaum verderben, denn es entwickelt sich in demselben keine so heftige Glut, daß der Stahl überhitzt wird, ferner wird der eingeblasene Sauerstoff von den Holzkohlen leicht aufgenommen und festgehalten und somit seine Einwirkung auf den Stahl verhindert, und schließlich läßt sich wegen der geringen Wärmeentwickelung eine langsame und gleichmäßig fortschreitende Erwärmung des Stahls erzielen, wodurch schädliche Spannungen vermieden werden.

Im Koksfeuer ist eine Einwirkung unverbrannten Sauerstoffs nicht leicht zu fürchten, wenn man vermeidet, daß sich Kanäle im Feuer bilden; es kommt aber leicht vor, daß das Koksfeuer zu heiß wird und daß der Stahl darin überhitzt und außerdem ungleich erwärmt wird. Der leicht verbrennbare Gaskoks ist dem festen schweren Koks vorzuziehen.

Das Steinkohlenfeuer ist, besonders bei der Anwendung backender Kohlen, für die Erwärmung des Stahls gefährlich. In einem Feuer aus backenden Steinkohlen bilden sich stets Hohlräume und der eintretende Wind erzeugt an einzelnen Stellen eine heftige Glut. Dadurch wird der Stahl

ungleichmäßig erwärmt, auch an einzelnen Stellen überhitzt, und da der Sauerstoff des eingeblasenen Windes von dem Feuer nicht gleich eingesogen und festgehalten wird, so beginnt er seinen Raub an dem Kohlenstoff des Stahls.

Außerdem sind die Steinkohlen mehr oder weniger schwefelhaltig, und wir haben im vorhergehenden mehrfach darauf hingewiesen, welche Gefahr die Nähe dieses Elements dem Stahl bringen kann, da der Schwefel schon bei niedriger Temperatur eine Verbindung mit demselben eingeht und $^1/_{25}$ Prozent genügt, um den Stahl unbrauchbar zu machen.

Wenn man darauf angewiesen ist, Stahl im Steinkohlenfeuer zu verarbeiten, so soll man die Kohlen erst ausbrennen (verkoken) und das Innere des Feuers mit den ausgebrannten Kohlen füllen.

Ein Werkzeugmacher, der guten und teueren Stahl verarbeitet, sollte nur mit Holzkohlen feuern, da ihm dabei die Mehrkosten gegenüber den Steinkohlen zehnfach wieder herauskommen. Man soll auch niemals einen Gegenstand sofort nach dem Schmieden härten, sondern ihn erst langsam erkalten lassen, damit die durch das Schmieden entstandenen Spannungen beseitigt werden und dann soll man ihn zum Härten neuerdings erwärmen.

Hat der Gegenstand eine ungewöhnliche Form, so ist es sogar notwendig, daß er nach dem Schmieden extra wieder gewärmt wird, und daß man ihn dann in Holzkohlenstaub allmählich ausglühen läßt, bevor man ihm die Härtetemperatur gibt.

Soll ein Gegenstand, der schon einmal gehärtet war, wieder gehärtet werden, so muß er vorher unbedingt ausgeglüht werden, sonst wird er brüchig.

Fehler, die beim Härten des Stahls, zumal des Gußstahls gemacht werden, und Vernachlässigungen, lassen sich nicht wieder gut machen.

Bei der Behandlung des Stahls muß ganz vorschriftsmäßig verfahren werden; da läßt sich nichts abkürzen und auch nichts übereilen.

Ist der Gegenstand in der richtigen Weise und gleichmäßig erwärmt, so geschieht das eigentliche Härten durch Eintauchen in die Härteflüssigkeit, welche je nach der Beschaffenheit dem Stücke seine Wärme rasch oder langsam entzieht und ihm dadurch eine größere oder geringere Härte verleiht.

Je besser der Stahl und je höher der Kohlenstoffgehalt ist, um so geringer kann im allgemeinen die Erwärmung sein. Das Richtige erlangt in dieser Beziehung der Schmied oder Schlosser durch längere Uebung.

Der Raum, in dem das Härten geschieht, muß möglichst dunkel gehalten sein, weil sonst durch die direkte Einwirkung des Sonnenlichts der Grad der Erwärmung nicht genau genug beurteilt werden kann.

Die gebräuchlichsten Abkühlungsmittel sind Wasser und Oel bezw. Fett.

Die Wirkung hängt von dem Grade des Wärmeleitungsvermögens ab. Je plötzlicher die Abkühlung erfolgt, um so plötzlicher und dichter ziehen sich die einzelnen Teilchen (Moleküle) zusammen.

Beim Wasser spielen nicht nur die Temperatur desselben eine Rolle, sondern auch sonstige Beschaffenheiten. Quellwasser härtet z. B. stärker als Regenwasser, fließendes Wasser stärker als stehendes und Brunnen, in sandigem Erdreich gegraben, liefern meistens besseres Härtewasser, als solche in Moor- oder Torfgegenden. Die stärkste Wirkung erzielt man in Salzwasser, worin z. B. alle Feilensorten gehärtet werden.

Die Wasserhärte wird bei solchen Gegenständen angewandt, die entweder große Schneidfähigkeit besitzen müssen, oder die durch ihre Härte andauernden Reibungen großen Widerstand zu bieten bestimmt sind.

Handelt es sich weniger um Härte als um Federkraft, oder besitzen die zu härtenden Gegenstände große Oberflächen gegenüber geringen Dicken wie z. B. Sensen, Häckselmesser, Sägen, Federn u. s. w., so wendet man Oel- oder Fetthärte an.

Sollen dünne Gegenstände eine ziemlich große Härte erhalten, so taucht man sie in Wasser, auf dem eine mehr oder minder dicke Fettschicht schwimmt.

Beim Eintauchen eines glühenden Stahlstücks ins Wasser bildet sich Wasserdampf, welcher eine weit geringere Wärmeleitungsfähigkeit als Wasser hat; er vermindert demnach das Härten in gewissem Maße.

Zuweilen wird dieser Umstand als erwünscht benutzt, indem man Gegenstände von verzwickter Form langsam ins Wasser taucht, wobei die sich bildenden Dampfbläschen sich an denselben ansetzen und sie vor zu starker Härtung schützen. Nach kurzer Zeit führt man den Gegenstand im Wasser hin und her, um die Bläschen zu entfernen und die Härtung zu Ende zu führen.

In der Regel wünscht man jedoch die einschränkende Wirkung des Dampfes nicht. Man führt den Gegenstand rasch ins Wasser und darin umher, oder man härtet ihn in fließendem Wasser, wobei der sich bildende Dampf sofort weggerissen wird.

In Feilenfabriken, wo den ganzen Tag hindurch gehärtet wird, hat man Härtekübel notwendig, die bis zu 50 cbm Salzwasser enthalten und zum Härten eines Amboses von mittlerer Größe sind 30 bis 40 cbm kaltes Wasser erforderlich, das nur einmal benutzt wird, und das in einem Zeitraume von etwa 10 Minuten senkrecht auf denselben niederstürzt.

Der Stahl dehnt sich bei der Erwärmung aus und zieht sich beim Erkalten zusammen, es geschieht dies in demselben Verhältnis, wie die Temperaturveränderung vor sich geht.

Hat nun ein aus Stahl hergestellter Gegenstand eine verzwickte Form, und hat er dünne und dicke Stellen, so eilen die ersteren den letzteren beim Ausdehnen und Zusammenziehen voraus, wodurch bei der plötzlichen Abkühlung (beim Härten) Spannungen auftreten, welche an das Zusammen-

halten der einzelnen Teilchen, also an die Zähigkeit des Stahls große Anforderungen stellen.

Besitzt der Stahl keine große Zähigkeit, oder ist die Zusammenziehung an den einzelnen Stellen des Gegenstandes zu verschiedenartig, so übertrifft die dadurch eintretende Spannung die Zähigkeit, und es entstehen Risse oder Brüche. Ein Bruch wird noch eher eintreten, wenn der Stahl unganze Stellen besaß. Da der Gußstahl am wenigsten Hohlräume zeigt, welche eben die unganzen Stellen im Stahl bilden, so ist dieser auch mit größerer Sicherheit zu härten, wie z. B. der Flußstahl.

Wenn es nicht durchaus nötig ist, so soll man Gegenstände aus Stahl niemals, weder beim Schmieden noch beim Drehen scharf einsetzen, sondern konisch, denn es ist begreiflich, daß an der plötzlich verjüngten Stelle die Zusammenziehung sehr verschieden ist, und daß da eine Spannung eintreten muß, die, wenn nicht beim Härten, so doch beim späteren Gebrauch, zum Bruch führen muß.

Man hat die Erfahrung gemacht, daß das Zusammenziehen des Gußstahls bei plötzlicher Abkühlung mehr beträgt, als die Ausdehnung bei der langsamen Erwärmung, und daß das Einschrumpfen mit dem höheren Gehalt an Kohlenstoff, den der Gußstahl besitzt, zunimmt.

Beim Flußstahl will man das Gegenteil beobachtet haben, indem sich derselbe nach dem Härten erweitert hatte und zwar der weiche Stahl wenig, der mittelharte Stahl etwas mehr und der harte Stahl sehr beträchtlich.

Hieraus geht hervor, daß, je nachdem die Form eines zu härtenden Gegenstandes ein Schrumpfen bezw. ein Erweitern zuläßt oder nicht, ein hoch oder weniger hoch gekohlter Stahl gewählt werden muß, oder man muß bei der Anfertigung des Gegenstandes von vornherein auf das verschiedenartige Verhalten bei Verwendung von Gußstahl oder Flußstahl Rücksicht nehmen.

Um die Spannung, die sich beim Härten jeder Stahlart mehr oder weniger einstellt, zu beseitigen, und um die Zähigkeit zu erhöhen, muß ein Ablassen des Stahls erfolgen. Nur einige stählerne Werkzeuge, wie Feilen, sowie Achslager ꝛc. werden nicht abgelassen, weil man bei ihnen durch den Härteprozeß den höchsten Härtegrad zu erzielen sucht, den der Stahl überhaupt zuläßt.

Das Ablassen beruht darauf, daß man den gehärteten Gegenstand wieder bis zu einem bestimmten Punkte erwärmt (d. h. lange nicht bis zu dem, auf welchen er beim Härten erwärmt wurde) und ihn dann entweder langsam oder auch plötzlich wieder abkühlt. Je höher beim Ablassen die Temperatur des Stahls war, um so weicher wird er.

Ein Kennzeichen für die Höhe der Stahltemperatur sind die auf dem vorher mit einem Steine blank gemachten Stahl erscheinenden Anlauffarben. Es erscheinen, entsprechend dem zunehmenden Wärmegrad auf der Oberfläche des Stahls die Farben:

Hellgelb	bei 220°	C.
Goldgelb	„ 240°	„
Dunkelgelb	„ 250°	„
Hellrot	„ 265°	„
Purpurrot	„ 280°	„
Violett	„ 290°	„
Hellblau	„ 300°	„
Dunkelblau	„ 315°	„

Bei gleichen Stahlsorten wird der hellgelb angelassene Stahl die größte, der dunkelblau angelassene die geringste Härte zeigen.

Eine andere Art des Ablassens von Stahl ist das Abbrennen, wodurch man eine der dunkelblauen Anlauffarbe entsprechende Härte erhält, indem man den Gegenstand mit Fett beschmiert und über Kohlen erhitzt, bis das Oel anfängt zu brennen.

Eine Erscheinung, die wir noch nicht besprochen haben, ist das Verziehen der stählernen oder verstählten Gegenstände nach dem Härten. Dieses Verziehen rührt hauptsächlich von der ungleichen Form der Stücke, mit plötzlich abwechselnden dünnen und dicken Stellen her, und da die Härtung in Wasser viel plötzlicher vor sich geht als in Oel oder Fett, so kommt das Verziehen bei Wasserhärtung viel häufiger vor als bei der Fetthärtung.

Das Verziehen beim Härten ist bei Gegenständen, die zum Teil aus Eisen und zum Teil aus Stahl bestehen, unausbleiblich, weil das Ausdehnen und Zusammenziehen des Eisens ganz verschieden ist von dem des Stahls. Die verstählten Gegenstände werden sich nach der Stahlseite hin krümmen und nach der Eisenseite hin zusammenziehen.

Ist ein Stahl in seiner Zusammensetzung von ungleichförmiger Beschaffenheit, so ist ein Verziehen oder Werfen desselben ebenfalls leicht erklärlich, weil sich dann jedenfalls einzelne Stellen mehr oder weniger stark ausdehnen werden als andere. Guter Gußstahl wird sich wegen seiner großen Gleichförmigkeit am wenigstes verziehen.

Gegenstände, die sich gezogen haben, müssen wieder gerichtet werden, was durch entsprechendes Hämmern, aber erst nach dem Ablassen geschehen darf.

Hammerwerke und Walzwerke.

Die Formgebung, bezw. das Dichten des Eisens und Stahls geschieht in glühendem Zustande durch Schmieden oder Walzen.

Zum Schmieden verwendet man mechanische Hämmer, die durch Wasserkraft oder Dampfkraft betrieben werden.

Man unterscheidet Helmhämmer (Winkelhämmer), welche um Zapfen drehbar sind und durch Daumen gehoben werden und Rahmenhämmer (Parallelhämmer), die zwischen senkrechten Schienen auf und nieder gehen.

Für Helmhämmer dienen mit wenigen Ausnahmen Wasserräder als Kraftmaschinen, während die Rahmenhämmer mit Dampf betrieben werden. Jeder Helmhammer besteht aus dem Hammerkopf (dem eigentlichen Hammer) und dem Stiel oder Helm. Der Hammerkopf ist aus zähem Schmiedeeisen gefertigt, er hat eine entsprechend große Oeffnung zur Aufnahme des Stiels und die Aufsatzfläche ist mit einer schwalbenschwanzförmigen Fuge versehen zur Aufnahme des stählernen Schmiedesattels.

Das Gewicht der Hammerköpfe beträgt 25 bis 250 kg. Die Stiele bestehen aus ausgesucht zähem, trockenem Buchenholz und haben eine Länge von 2 bis 5 m und eine Dicke von 0,3 bis 0,5 m.

Man unterscheidet je nach der Art des Angriffs der Hebedaumen: Aufwerfhämmer, Stirnhämmer und Schwanzhämmer.

Beim Aufwerfhammer greifen die Daumen hebend in der Mitte der Stiellänge an und der Drehpunkt befindet sich am Schwanzende, d. i. das dem Hammerkopfe entgegengesetzte Ende des Stiels, beim Stirnhammer greifen die Daumen ebenfalls hebend, aber vor dem Hammerkopfe an und der Drehpunkt ist auch am Schwanzende des Stiels, und beim Schwanzhammer greifen die Daumen drückend am Schwanzende des Stiels an, und der Drehpunkt befindet sich auf ein Drittel der Stiellänge, vom Schwanzende aus gemessen, so daß ein Hebel gebildet wird.

Die Hammerachse (Daumenwelle) ist ein runder Eichenstamm von ca. 8 m Länge und 1 bis 1¼ m mittlerem Durchmesser. Dieselbe ruht vermittelst gußeiserner Zapfen von 100 bis 120 mm Durchmesser auf hölzernen oder gußeisernen Lagern. Damit die Hammerachse die nötige Schwere von mindestens 10000 kg bekommt, belastet man dieselbe mit gußeisernen Ringen. Auch der gußeiserne Ring, in dem die Daumen sitzen, ist aus demselben Grunde auffallend breit und dick. Auf dem dünnen Ende der Achse, welches mehrere Meter aus dem Hammergebäude herausragt, ist das Wasserrad aufgekeilt.

Beim Aufwerfhammer liegt die Achse parallel zum Helm, beim Stirn- und Schwanzhammer liegt sie rechtwinklig zum Helm und zwar beim Stirnhammer vor dem Hammerkopf und beim Schwanzhammer hinter dem Schwanzende.

Die Zahl der Daumen, die in gleichen Abständen um die Hammerachse herumsitzen, ist sehr verschieden.

Die Aufwerf- und Stirnhämmer haben 4 bis 8, die Schwanzhämmer 10 bis 12 Daumen.

Die auf dem Helme aufgekeilte Drehvorrichtung heißt die Hülse. Diese ist ein aus zähem Eisen geschmiedeter schwerer Ring, der zu beiden Seiten einen verstählten, konisch geformten Zapfen besitzt, welche in die Löcher der

Pfadeisen passen, die in zwei Ständern aus Holz oder Gußeisen gelagert sind. Die Hülsen haben ein Gewicht von 120 bis 200 kg. Damit die Wirkung des Schlages bei den Helmhämmern vergrößert und die Schlagdauer verkürzt wird, bringt man eine Prellvorrichtung an, die den Hammer nach jedesmaligem Hub mit Heftigkeit abstößt. Diese Prellvorrichtung besteht bei den Aufwerf- und Stirnhämmern aus einem hölzernen elastischen Balken, dem Reitel, der oberhalb des Helms und parallel mit diesem als Hubbegrenzung angebracht ist, während die Schwanzhämmer den Rückstoß durch den sogenannten Stößer, ein kubisches Gußstück, welches an der Stelle, wo das Schwanzende des Helms beim Niederdrücken den Boden berührt, in Holz elastisch gelagert ist, erhalten.

Das Schwanzende des Helms ist mit einem eisernen Bande, dem Helmbande, versehen, welches an den Stellen, wo die Daumen angreifen und wo der Anprall auf den Stößer stattfindet, Verstärkungen aus Stahl besitzt, um dem Verschleiß größeren Widerstand zu geben.

Die Ambose, welche bei den Helmhämmern benutzt werden, sind meistens aus Hartguß, seltener aus Stahl. Sie haben eine Länge von 250 bis 400 mm und wiegen 40 bis 100 kg. Man macht die Ambose, die zum Nachschleifen der Bahn öfters herausgehoben werden müssen, nicht schwerer als durchaus nötig ist; dafür gibt man aber den gußeisernen Schabotten, in welche erstere eingeklemmt werden, ein Gewicht, je nach der Größe des Hammerkopfs von 500 bis 1000 kg. Die Schabotte ruht auf dem tief in das Erdreich eingelassenen eichenen Hammerstock.

Der Ambos wird derart in die Schabotte eingesetzt, daß dessen Bahn parallel zur Bahn des Hammersattels liegt.

Die Schnelligkeit und Stärke der Hammerschläge wird nur durch die Menge des Aufschlagwassers vermittelst der Schütze reguliert. Wo man aber anstatt der vertikalen Wasserräder horizontale (Turbinen) anwendet und wo die Wasserkraft oder Dampfkraft mit einer Anordnung von Wellen und Riemscheiben auf die Hämmer übertragen wird, da wird das Uebersetzungsverhältnis, d. h. der raschere oder langsamere Gang der Hämmer durch den Riemenführer hergestellt, der den Treibriemen von der losen Scheibe mehr oder weniger auf die feste Scheibe drängt. Man trifft hier und dort auch wohl bei Schwanzhämmern, die durch Riemen getrieben werden, eiserne Daumenwellen an, die den Vorteil haben, daß sie lange halten, wenig Reparaturen erfordern und wenig Raum einnehmen, aber die Hammerschmiede ziehen im allgemeinen die elastischen längeren Holzwellen vor, weil sie den Schlag mildern, wodurch beim Schmieden, besonders aber beim Aufkanten des Schmiedestücks weniger Stöße in den Armen verspürt werden.

Die Aufwerf- und Stirnhämmer haben einen Hub zwischen 300 und 800 mm und ein Hammerkopfgewicht von 100 bis 250 kg. Sie dienen hauptsächlich zum Dichten und Ausschmieden der Herdfrisch- und Puddelluppen;

es werden auch hier und da noch Façonstücke und Radreifen aus Eisen und Stahl darunter geschmiedet.

Da diese Art Hämmer aber die jetzt vorkommenden großen Schmiedestücke nicht mehr bewältigen können, und sich bei Benutzung der Ueberhitze bei den Puddel- und Schweißöfen die Dampferzeugung sehr billig stellt, so werden sie von den Dampfhämmern immer mehr verdrängt. Dagegen sind die Schwanzhämmer noch viel im Gebrauch; sie zählen wie schon früher erwähnt, im bergisch-märkischen Industriebezirk nach Hunderten, die auch, wenn das erforderliche Aufschlagwasser vorhanden ist, zum größten Teil sehr flott betrieben werden.

Die Schwanzhämmer dienen dazu, den zu raffinierenden Holzkohlen- und Puddelrohstahl in dünne Schienen auszurecken, dieselben, wenn gebündelt, in der Schweißhitze zu dichten und auf Maß zu schmieden.

Bei dieser Arbeit sitzt der Hammerschmied auf einen Stuhl, der ihm eine Vorwärts- und Rückwärtsbewegung gestattet, an der Seite des Hammers.

Zum Recken setzt man schmale Sättel ein, zum Schlichten breitere. Man hat aber auch Reck- und Schlichtsättel in einem Stück.

Die Schwanzhämmer schmieden Stäbe von 100 mm Querschnitt und stärker in vierkant, flach, rund, achtkantig und flach mit runden Kanten bis zu einer Länge von 5 m. Rundstahl wird in Gesenken geschmiedet, indem man den Stab bei der Hin- und Herführung immer rund dreht. Auch Wagenachsen mit geraden oder konischen Schenkeln und andere Façonstücke werden unter Schwanzhämmern sehr sauber geschmiedet.

Am wichtigsten und unentbehrlichsten sind die Schwanzhämmer bei der Herstellung von Breitewaren, als Spaten, Pflugschare, Sensen 2c.

Beim Breiten sitzt der Hammerschmied vor dem Hammer und sein Sitz ist so angeordnet, daß er sich auch nach rechts und links um den Hammerstock bewegen kann, um den zu breitenden Gegenstand in jede Richtung zu der Kante des Hammersattels zu bringen. Das Aufschlagen des schmalen Hammersattels wirkt ausbreitend und ziehend wie die Pinne eines Vorschlaghammers. Es gibt keine Hammeranordnung, die den Schwanzhammer in dieser Weise ersetzen könnte.

Man bedenke, daß eine Pflugschar von sechs und mehr Kilo aus einem etwa 100 mm breiten und 25 mm dicken Stahlstabe in einer Hitze in die dreifache Breite gebracht wird, und daß das Ausbreiten eines Spatens oder einer Sense aus entsprechend dicken Stahlstangen kaum eine Minute Zeit in Anspruch nimmt.

Die Breitehämmer machen in der Minute 340 bis 460 Schläge, so daß man die einzelnen Schläge kaum voneinander unterscheiden kann.

Es gehört gewiß eine große Geschicklichkeit dazu, das zu breitende Stahlstück in der sehr kurzen Zeit so auf dem Ambos zu drehen und zu wenden,

daß infolge der richtigen Verteilung der Schläge das vorliegende Modell richtig nachgebildet wird.

Aufwerf- und Stirnhämmer bedürfen einer Betriebskraft, je nach dem Gewicht des Hammerkopfs, der Hubhöhe, der Geschwindigkeit mit der sie gehoben werden und der Art des Angriffs der Daumen von 5 bis 15 Pferdekräften, wogegen Stahlraffinier- und Breitehämmer in der Regel mit 3 bis 4 Pferdekräften auskommen.

Die Rahmenhämmer (Parallelhämmer) sind meistens direkt wirkende Dampfhämmer, welche von einem Dampf-Cylinder aus bewegt werden.

Das Hammergerüst besteht aus zwei eisernen Ständern mit den Führungen, in welchen der Fallblock oder Hammerbär auf und nieder geht. Senkrecht darunter ist der Ambos in der Schabotte befestigt, welche äußerst vorsichtig fundamentiert sein muß. Bei schweren Dampfhämmern ist das Fundament der Schabotte von dem des Hammergerüstes getrennt. Ueber dem Bär befindet sich auf dem Gerüst der Dampfcylinder, dessen Kolben durch eine Kolbenstange mit dem Bären verbunden ist. Durch den unter den Kolben tretenden Dampf wird der Bär gehoben. Teils arbeiten die Hämmer nur mit Hebedampf und der Bär fällt lediglich durch sein eigenes Gewicht nieder, wobei die Stärke des Schlages dann durch die Hubhöhe geregelt wird, oder es wird Gegendampf (Oberdampf) angewendet. Die Steuerung der Dampfhämmer geschieht entweder mit der Hand oder selbstthätig.

Die Dampfhämmer, welche für ein Bärgewicht von 500 bis 10000 und mehr Kilo gebaut werden, finden in den Eisen- und Stahlwerken Anwendung zum Dichten und Vorschmieden der Luppen und Stahlblöcke, sowie zum Ausschmieden von Stäben und allerhand größeren Façonstücken.

Es gibt noch andere Arten Parallelhämmer, die von einer Transmission aus bewegt werden. Sie sind Daumenhämmer, wenn der Bär durch Daumen gehoben wird, Federhämmer, wenn der Bär vermittelst einer Kurbel von einer elastischen Feder bewegt wird, und Friktionshämmer, wenn eine am Bär befestigte Stange oder ein Brett durch Reibung zwischen zwei dagegengepreßten, entgegengesetzt gedrehten Rollen gehoben und durch Loslassen derselben fallen gelassen wird.

Die Walzwerke dienen zur Formgebung des glühenden Eisens und Stahls durch Ausstrecken. Die Walzen laufen mit Zapfen in Lagern, welche von gußeisernen Ständern getragen werden. Es befinden sich je zwei oder drei zusammengehörige Walzen, deren Achsen senkrecht übereinander liegen, zwischen einem Ständerpaare. Zwei oder mehr Walzenpaare werden zu einer Walzenstraße vereinigt.

Die Wirkung der Walzen beruht auf Druck und Reibung.

Wenn zwei Walzen in einem unveränderlichen Abstand so angebracht und durch Zahnräder so verbunden sind, daß sie sich in der entgegengesetzten

Richtung drehen können, so wird ein zwischen die Walzen geschobenes, glühendes Stück Eisen, wenn dasselbe etwas dicker ist als der Walzenzwischenraum, durch die an seinen Berührungspunkten mit den Walzen entstehende starke Reibung mitgenommen und zwischen den Walzen hindurch gedrängt; zugleich erfährt es durch den ausgeübten Druck eine Verminderung der Metalldicke, mit gleichzeitiger Ausdehnung in Länge und Breite.

Die Walzen bestehen meistens aus Hartguß.

Zum Walzen von Blechen sind sie an ihren Oberflächen glatt (cylindrisch), und die Entfernung voneinander muß nach jedem Durchgang durch Stellschrauben verringert werden. Sind die Walzenmäntel mit Kalibern versehen, so wird der Abstand in jedem folgenden Kaliber geringer; die Querschnittsfläche der Kaliber nimmt also ab.

Die größeren Walzwerke werden stets durch Dampfkraft betrieben, kleinere Anlagen sind vielfach noch auf Wasserkraft angewiesen.

Es gibt Walzwerke für Draht und Feineisen, für Mitteleisen und Grobeisen, für Feinblech, Kesselblech und Luppeneisen.

Schließlich gibt es noch Façonwalzwerke für Façoneisen nach verschiedenen Querschnitten, für Eisenbahnschienen, Träger und Winkeleisen und Kopfwalzwerke zur Darstellung von Eisenbahnradreifen, Winkelringen und anderen Arten von Ringen.

Gewichtstabelle für Eisendraht.

D heißt Dicke in Millimeter;
G ist das Gewicht für 100 laufende Meter.

Nr.	D mm	G kg	Nr.	D mm	G kg	Nr.	D mm	G kg	Nr.	D mm	G kg
100	10	61,2	42	4,2	10,6	13	1,3	1,0	4	0,4	0,10
94	9,4	53,0	38	3,8	8,7	12	1,2	0,86	$3\frac{7}{10}$	0,37	0,08
88	8,8	46,5	34	3,4	6,9	11	1,1	0,73	$3\frac{4}{10}$	0,34	0,07
82	8,2	40,4	31	3,1	5,8	10	1	0,60	$3\frac{1}{10}$	0,31	0,06
76	7,6	34,7	28	2,8	4,7	9	0,9	0,49	$2\frac{8}{10}$	0,28	0,05
70	7	30,0	25	2,5	3,8	8	0,8	0,38	$2\frac{6}{10}$	0,26	0,04
65	6,5	25,4	22	2,2	2,9	7	0,7	0,29	$2\frac{4}{10}$	0,24	0,035
60	6	22,0	20	2	2,4	6	0,6	0,22	$2\frac{2}{10}$	0,22	0,029
55	5,5	18,2	18	1,8	1,9	$5\frac{1}{2}$	0,55	0,18	2	0,2	0,024
50	5	15,3	16	1,6	1,5	5	0,5	0,15			
46	4,6	12,7	14	1,4	1,2	$4\frac{1}{2}$	0,45	0,13			

Gewichtstabelle für Quadrat- und Rundeisen.

1 lauf. Meter wiegt in Kilo. D heißt Dicke bezw. Durchmesser in Millimeter.

D	□	○	D	□	○	D	□	○	D	□	○
5	0,195	0,153	29	6,551	5,145	56	24,47	19,19	140	152,7	119,9
6	0,280	0,220	30	7,011	5,506	58	26,21	20,58	145	163,8	128,6
7	0,382	0,300	31	7,486	5,880	60	28,04	22,03	150	175,3	137,7
8	0,499	0,392	32	7,977	6,265	62	29,94	23,52	155	187,2	147,0
9	0,631	0,496	33	8,483	6,663	64	31,91	25,06	160	199,4	156,6
10	0,779	0,612	34	9,005	7,073	66	33,93	26,65	165	212,1	166,6
11	0,943	0,740	35	9,543	7,495	68	36,02	28,29	170	225,1	176,8
12	1,122	0,881	36	10,10	7,929	70	38,17	29,98	175	238,6	187,4
13	1,317	1,034	37	10,66	8,376	72	40,38	31,72	180	252,4	198,2
14	1,527	1,199	38	11,25	8,828	74	42,66	33,50	185	266,6	209,4
15	1,753	1,377	39	11,85	9,306	76	45,00	35,31	190	281,2	220,7
16	1,994	1,566	40	12,46	9,789	78	47,39	37,22	195	296,2	232,6
17	2,251	1,768	41	13,09	10,28	80	49,86	39,16	200	311,6	244,7
18	2,524	1,982	42	13,74	10,79	85	56,28	44,20	205	327,4	257,1
19	2,812	2,207	43	14,40	11,31	90	63,10	49,56	210	343,5	269,8
20	3,116	2,447	44	15,08	11,84	95	70,30	55,18	215	360,1	282,8
21	3,435	2,698	45	15,77	12,39	100	77,90	61,18	220	377,0	296,1
22	3,770	2,961	46	16,48	12,95	105	85,88	67,45	225	394,4	309,7
23	4,121	3,237	47	17,21	13,52	110	94,26	74,03	230	412,1	323,7
24	4,487	3,524	48	17,95	14,10	115	103,0	80,91	235	430,2	337,9
25	4,869	3,824	49	18,70	14,69	120	112,2	88,10	240	448,7	352,4
26	5,266	4,136	50	19,48	15,30	125	121,7	95,60	245	467,6	367,2
27	5,679	4,460	52	21,06	16,54	130	131,7	103,4	250	486,9	382,4
28	6,117	4,797	54	22,72	17,84	135	142,0	111,5	255	506,5	397,8

Gewichtstabelle für Eisen- und Gußstahlblech

für den Quadratmeter in Kilogrammen.

Dicke in Millimeter	=	**0,25**	**0,75**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
aus Schweißeisen	=	1,95	5,84	7,79	15,58	23,37	31,16	38,95	46,74 kg
aus Gußstahl	=	1,97	5,90	7,87	15,74	23,61	31,48	39,35	47,22 kg
Dicke in Millimeter	=	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	
aus Schweißeisen	=	54,53	62,32	70,11	77,90	85,69	93,48	101,27 kg	
aus Gußstahl	=	55,09	62,96	70,83	78,70	86,57	94,44	102,31 kg	
Dicke in Millimeter	=	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
aus Schweißeisen	=	109,06	116,85	124,64	132,43	140,22	148,01	155,80 kg	
aus Gußstahl	=	110,18	118,05	125,92	133,79	141,66	149,53	157,40 kg	

Buchdruckerei von Straubing & Müller, Weimar.


ANNEX

